Archive of SID

روشی نوین در محاسبه ضریب سیمان‌شدگی قانون آرچی برای سنگ‌های کربناته به کمک نگار چگالی: مطالعه موردی در یکی از مخازن کربناته جنوب ایران

کیوان خیّر*[۱]، علی مرادزاده[۲]، بهزاد تخم‌چی[۳]

۱- دانشجوی دکتری، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود
۲- استاد، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه تهران
۳- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود
(دریافت: دی ۱۳۹۵، پذیرش: دی ۱۳۹۷)

چکیده

برای اندازه‌گیری مقدار اشباع هیدروکربور از دو روش تفسیر نگارهای چاه‌پیمایی و استفاده از روش‌های معمول استفاده می‌شود. قانون آرچی یکی از اساسی‌ترین روش‌های محاسبه اشباع آب در سازند است. رابطه آرچی دارای سه پارامتر ضریب سیمان‌شدگی، ضریب پیچاپیچی و توان اشباع‌شدگی است. آرچی این سه پارامتر را بر اساس نتایج آزمایشگاهی که بر روی نمونه‌های ماسه‌سنگی انجام داده بود، تعیین کرد و به هر کدام از این پارامترها مقدار ثابتی را نسبت داد. از آنجایی که مخازن کربناته دارای بافت، شکل و توزیع حفرات مختلف هستند، نسبت دادن یک مقدار ثابت به هر کدام از این پارامترها صحیح نیست. روش‌های مختلفی تاکنون برای محاسبه ضریب سیمان‌شدگی به صورت پیوسته در مخازن کربناته ارائه شده است اما در هیچ کدام از این روش‌ها به تغییرات لیتولوژی از آهک به دولومیت و یا جنس سیمان توجه نشده است. در این مطالعه رابطه بین نگار چگالی و ضریب سیمان‌شدگی مورد بررسی قرار گرفته است. چرا که ضریب سیمان‌شدگی را می‌توان به عنوان پارامتری که در ارتباط نزدیک با چگالی است، معرفی نمود. با محاسبه چگالی ماتریکس سازند و ضریب تطابق بین چگالی و ضریب سیمان‌شدگی حاصل از مغزه، در نهایت رابطه‌ای ارائه شد که به کمک آن تغییرات ضریب سیمان‌شدگی با دقت ۸۴/۰۹ درصد محاسبه می‌شود.

کلمات کلیدی

ضریب سیمان‌شدگی، مخزن کربناته، نگار چگالی

*عهده‌دار مکاتبات: keyvan.khayer@gmail.com

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

اشباع‌شدگی هیدروکربن به طور غیرمستقیم با استفاده از اطلاعات نگارهای چاه پیمایی و فرمول‌های مختلفی که از این نگارها استفاده می‌کنند محاسبه می‌گردد[۱]. یکی از اساسی‌ترین رابطه‌های محاسبه اشباع‌شدگی آب، رابطه آرچی است که در رابطه (۱) به آن اشاره شده است.

$$Sw = [\frac{a}{\emptyset^m} * \frac{R_w}{R_t}]^{\frac{1}{n}} \quad (۱)$$

در این رابطه $\emptyset$ تخلخل، S_w اشباع آب، R_w مقاومت ویژه آب سازند و R_t مقاومت ویژه سازند است. پارامترهای a، m و n که به ضرایب آرچی مشهورند، به ترتیب ضرایب پیچاپیچی، سیمان‌شدگی و نمای اشباعی نامیده شده‌اند که مقادیر آنها در آزمایشگاه محاسبه می‌شود[۲]. لازمه محاسبه این ضرایب در آزمایشگاه، داشتن مغزه است. از آنجایی که تعداد مغزه‌های گرفته شده از چاه محدود بوده و در مخازن کربناته تنوع در بافت، شکل و نحوه ارتباط حفرات، زیاد است، اختصاص یک عدد ثابت به قسمتی از چاه موجب خطا در محاسبه درصد اشباع‌شدگی و به دنبال آن تخمین نادرست از حجم سیال موجود در مخزن می‌گردد. از این رو اشخاص مختلفی به بررسی رابطه‌های گوناگون برای ارائه رابطه‌ای صحیح، به منظور محاسبه ضریب سیمان‌شدگی به طور پیوسته در سرتاسر مخازن کربناته پرداخته‌اند. از جمله این افراد می‌توان به شل، بورایی، نوگنت، رگلاند و لوسیا اشاره نمود[۳]. شل از مطالعه نمونه‌های دولومیتی در غرب تگزاس برای تعیین مقادیر m در محیط کربناته عمیق به رابطه (۲) دست یافت[۴].

$$m = \frac{0.019}{\emptyset} + 1.87 \quad (۲)$$

بورایی با استفاده از داده‌های مغزه در سنگ‌های کربناته دور از ساحل ابوظبی، رابطه بین ضریب سیمان شدگی و تخلخل را در قالب رابطه (۳) ارائه نمود.

$$m = 2.2 - \frac{0.035}{\emptyset + 0.042} \quad (۳)$$

نوگنت برای محاسبه فاکتور سیمان‌شدگی در یک سازند ریفی، فرمولی را ارائه داد. وی از نمودارهای چاه نگاری مختلف برای محاسبه مقدار نسبی m استفاده نمود. همچنین در این کار از دو نمودار نوترون و چگالی برای محاسبه تخلخل کل و همچنین از نمودار صوتی برای محاسبه تخلخل موثر استفاده و رابطه (۴) را رائه نمود[۵].

$$m = \frac{2\ Log\emptyset_s}{Log\ \emptyset_t} \quad (۴)$$

در این رابطه $\emptyset_s$ تخلخل حاصل از نگار صوتی و $\emptyset_t$ تخلخل کل است.

رگلاند، ۹۸ نمونه از مغزه‌های حفرشده در محل‌های مختلف(با انواع تخلخل) و از محیط‌های رسوبی مختلف را مورد مطالعه قرارداد. وی نشان داد که نمونه‌های با تخلخل‌های ریز (تخلخل انحلالی، میکروسکوپی و شکستگی‌های ریز)، تاثیر کم‌تری بر روی ضریب سیمان شدگی دارند که با توجه به درصد فراوانی تخلخل‌های قالبی و بین ذره‌ای، دو رابطه ساده برای پیش‌بینی m در نمونه‌هایی با این‌گونه تخلخل‌ها ارائه کرد. وی رابطه (۵) را برای نمونه‌هایی با تخلخل قالبی و رابطه (۶) را برای نمونه‌هایی با تخلخل بین ذره‌ای ارائه داد.

$$m = e^v + 0.7 \quad (۵)$$

$$m = -0.44v + 2.29 \quad (۶)$$

که در این رابطه‌ها، v حجم فضای خالی است[۶].

در همه رابطه‌های گفته شده این ایراد وجود دارد که هر کدام از آنها برای شرایط خاصی از مخزن صدق می‌کند و هیچ کدام بدون وابستگی به نوع تخلخل و یا جنس لیتولوژی مقدار ضریب سیمان‌شدگی محاسبه نمی‌کنند. در این پژوهش به بررسی نگار چگالی و ارتباط آن با میزان سیمان‌شدگی بین دانه‌های سازند مورد مطالعه پرداخته شده است و در نهایت رابطه‌ای جهت محاسبه ضریب سیمان‌شدگی به صورت پیوسته در سرتاسر مخزن ارائه گردید.

۲- روش، بحث و بررسی

ضریب سیمان‌شدگی را می‌توان به عنوان پارامتری که ارتباط نزدیکی با چگالی دارد، معرفی نمود. علاوه براین، تغییر در نوع لیتولوژی و نوع سیمان بین دانه‌های سنگ و همچنین تبدیل آهک به دولومیت در سنگ‌های کربناته سبب تغییر در میزان سیمان‌شدگی و همچنین چگالی سنگ می‌شود. با تغییر میزان سیمان‌شدگی بین دانه‌های سنگ، مقدار چگالی سنگ نیز تغییر می‌کند. با توجه به موارد ذکر شده، در صورتی که بتوان رابطه بین ضریب سیمان شدگی و چگالی سنگ را تعیین نمود، می‌توان

www.SID.ir

Archive of SID

رابطه‌ای را برای تعیین ضریب سیمان‌شدگی در سرتاسر مخزن با استفاده از نگار چگالی ارائه نمود. به این منظور در ابتدا مقدار چگالی زمینه سنگ با استفاده از رابطه (۷) تعیین می‌شود[۷].

$$\rho_b = \rho_{mat}(1-\emptyset) + \rho_f(\emptyset) \qquad (۷)$$

پس از آن میزان تطابق چگالی زمینه سنگ با ضریب سیمان شدگی به دست آمده از آزمایش‌های مغزه باید تعیین شود. به این منظور فاکتوری با عنوان فاکتور تطابق IMF تعریف می‌شود که برای هر کدام از مولفه‌های تشکیل دهنده سازند در چاه به طور جداگانه محاسبه می‌شود. نحوه محاسبه IMF به شرح زیر است.

در تعیین فاکتور تطابق به داده‌های ضریب سیمان‌شدگی حاصل از نتایج آنالیز مغزه، اطلاعات مربوط به جنس لیتولوژی و درصد حجمی حضور آن در سازند و اطلاعات نگار چگالی در نقطه‌هایی از سازند که در آنها مغزه‌گیری صورت گرفته، نیاز است. باید توجه داشت تنها محدودیت این روش آن است که لازم است مغزه‌های گرفته شده تا حد ممکن از یک زون حاوی نفت و یک زون حاوی آب گرفته شده باشد. حال چگالی زمینه محاسبه شده در هر یک از زون‌های آبی و نفتی را در مقابل مقادیر ضریب سیمان‌شدگی مغزه در یک نمودار متقاطع رسم نموده و مقدار ضریب همبستگی حاصل، به عنوان فاکتور تطابق کلی آن زون M در نظر گرفته می‌شود و در ادامه از آن برای محاسبه فاکتور تطابق چگالی هر یک از مولفه‌های لیتولوژی با ضریب سیمان شدگی استفاده خواهد شد.

به منظور تعیین فاکتور تطابق چگالی زمینه سنگ با ضریب سیمان‌شدگی، دستگاه معادلاتی مطابق دستگاه ارائه شده در رابطه (۸) باید تشکیل شود. در این دستگاه فرض شده است سازند از سه مولفه لیتولوژی شیل، آهک و ماسه تشکیل شده است.

$$\begin{cases} V_{sh}m_{sh} + V_{lim}m_{lim} + m_{sand}V_{sand} = M_{oil\ zone} \\ V_{sh}m_{sh} + V_{lim}m_{lim} + m_{sand}V_{sand} = M_{water\ zone} \end{cases} \qquad (۸)$$

در این دستگاه، V_{sh}، V_{lim} و V_{sand} به ترتیب درصد حجمی شیل، آهک و ماسه سنگ است. مقادیر m_{dol}، m_{sand} و m_{sh} به ترتیب ضریب تطابق بین ضریب سیمان‌شدگی با هر یک از مولفه‌های آهک، دولومیت، ماسه‌سنگ و شیل است. در نهایت، $M_{water\ zone}$ و $M_{oil\ zone}$ مقدار فاکتور تطابق محاسبه شده در مرحله قبل است که در هر یک از زون‌های آبی و نفتی به صورت مجزا محاسبه می‌شود.

با توجه به مفهوم سیمان‌شدگی بین دانه‌های سنگ و ارتباطی که بین این ضریب و چگالی وجود دارد، رابطه‌ای را در قالب رابطه (۹) می‌توان برای محاسبه ضریب سیمان‌شدگی به صورت پیوسته محاسبه نمود.

$$m = \rho_b + ((\sum_{i=1}^{n} m_i v_i) \times \rho_{mat}) - (\emptyset \times \rho_f) \qquad (۹)$$

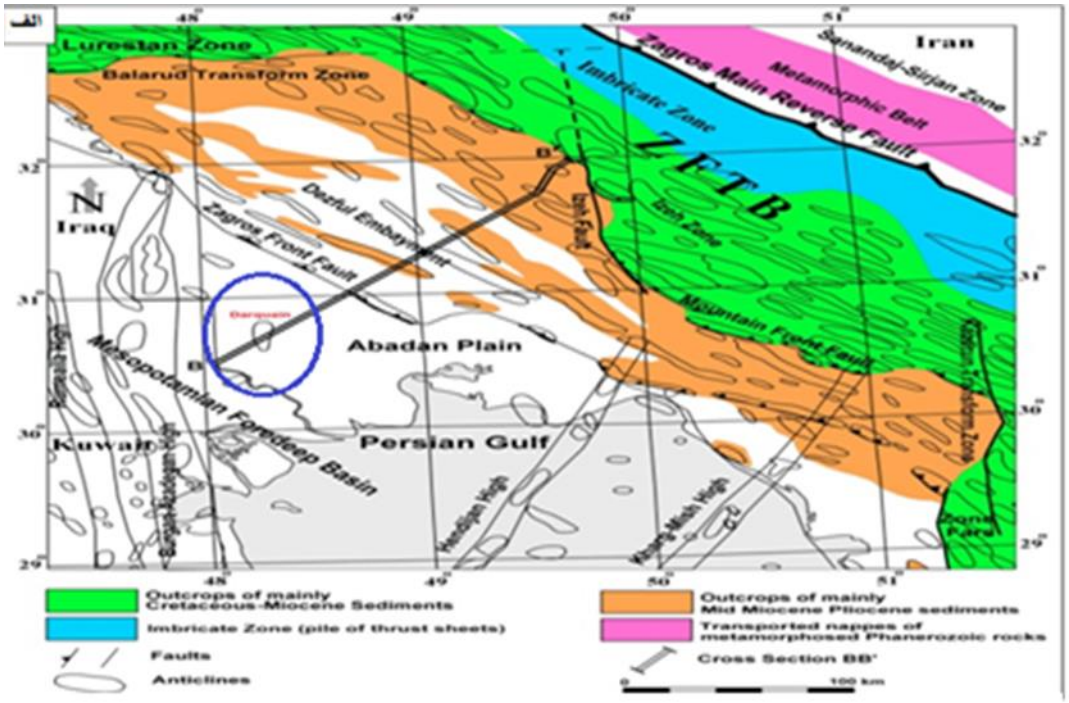
در تشریح رابطه (۹) باید به این موضوع اشاره کرد که این رابطه ناشی از ارتباطی است که بین چگالی و مقدار سیمان‌شدگی وجود دارد. در این رابطه قسمت دوم معادله که در آن فاکتور تطابق وارد شده است، نقش مهمی را بر عهده دارد. برای حذف اثر حضور سیال در محاسبه ضریب سیمان‌شدگی، حاصل ضرب تخلخل در چگالی سیال از مقدار چگالی کل کم شده است.

۳- مخزن مورد مطالعه

برای تفسیر و تعیین پارامترهای پتروفیزیکی یک مخزن، شناخت از ویژگی‌های زمین شناسی میدان مورد مطالعه و آشنایی کامل با داده‌های مورد استفاده در تعیین خصوصیات مخزنی لازم است. میدان مورد مطالعه در این پژوهش، میدان دارخوین است. میدان نفتی دارخوین تاقدیسی با روند شمالی-جنوبی است که در دشت آبادان جای گرفته است. دشت آبادان در انتهای جنوب غرب ایران قرار دارد. حد شمال و شمال شرق آن، کمربند چین‌خورده زاگرس است که از جنوب تاقدیس‌های سوسنگرد، آب‌تیمور و منصوری می‌گذرد و پس از عبور از میدان‌های رگه سفید وارد خلیج فارس شده تداوم شمالی این خط وارد عراق می‌شود. حد جنوبی دشت آبادان به خلیج فارس و حد غربی آن مرز عراق است. مخازن اصلی این میدان سازندهای ایلام، سروک و فهلیان است. زون‌هایی از سازندهای سرگلو و گرو از لحاظ ضخامت و مقدار ماده آلی کل، اصلی‌ترین زون‌های سنگ منشاء در میدان دارخوین هستند و زون‌هایی از سازندهای کژدمی و نیریز را می‌توان به عنوان زون‌های فرعی سنگ منشاء در نظر گرفت. شکل ۱ نشان‌دهنده نقشه زمین‌شناسی جنوب غرب ایران است و منطقه مورد مطالعه نیز با دایره آبی رنگ مشاهده می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱:نقشه زمین شناسی مربوط به جنوب غرب ایران، درون بیضیگون آبی رنگ محدوده مخزن دارخوین است (تهیه شده توسط شرکت ملی نفت ایران)

در این پژوهش از نگارهای چاه‌پیمایی و پتروفیزیکی چاه DQ14 به منظور به دست آوردن رابطه‌ای برای محاسبه ضریب سیمان‌شدگی استفاده شده است. نگارهای گرفته شده از این چاه شامل نگار قطرسنجی، صوتی، مقاومت ویژه، نوترون، فتوالکتریک، چگالی و گامای طبیعی است. علاوه بر نگارهای ذکر شده، اطلاعات ۱۰ مغزه در اختیار این پژوهش قرار دارد. در شکل ۲ قسمتی از نگارهای پتروفیزیکی گرفته شده از این چاه مشاهده می‌شود.

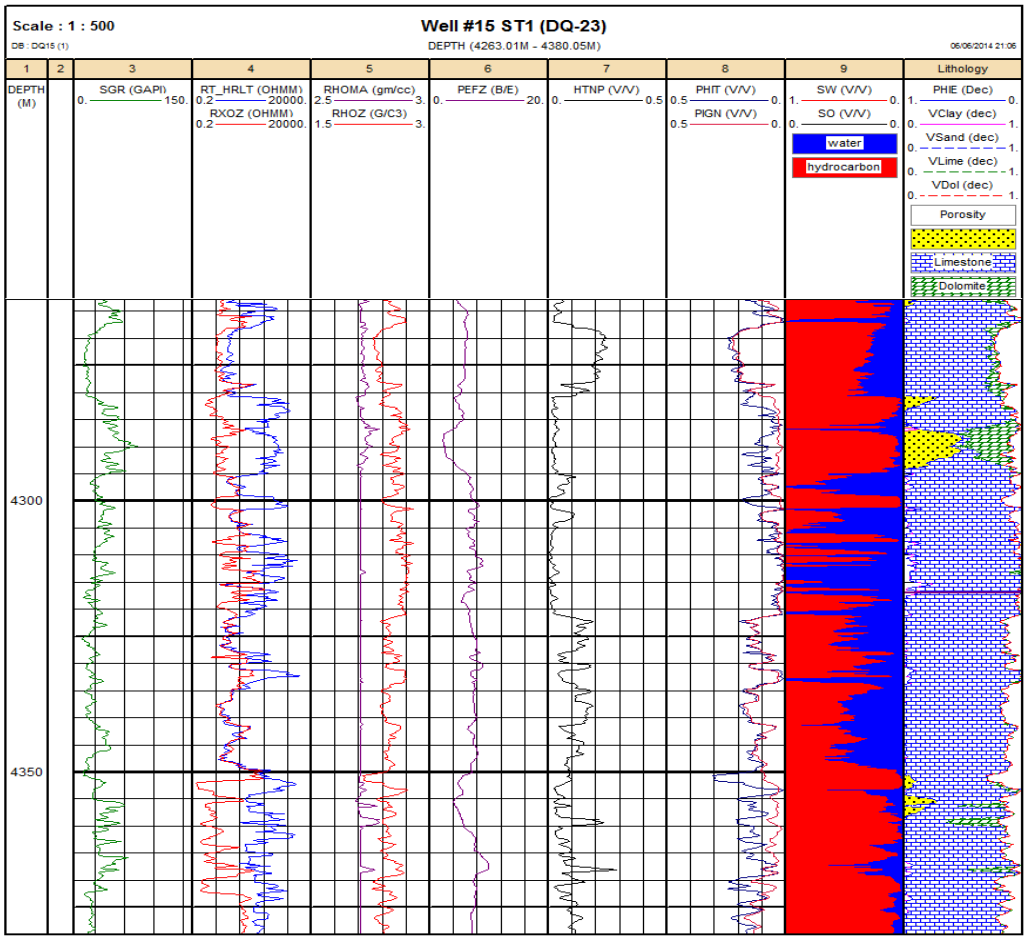
همان طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، لیتولوژی چاه مورد مطالعه از دولومیت، سنگ آهک، ماسه سنگ و ایلیت تشکیل شده است. میزان متوسط تخلخل زون مخزنی این چاه ۱۷ درصد و مقدار درصد اشباع متوسط هیدروکربور موجود در سازند ۸۳ درصد است.

برای تعیین ضریب سیمان‌شدگی با استفاده از این روش، در ابتدا باید مقدار چگالی زمینه سنگ تعیین شود. به این منظور با استفاده از رابطه (۷)، مقدار چگالی زمینه سنگ محاسبه و با استفاده از آن و تشکیل دستگاه معادلات ارائه شده در رابطه (۱۰) مقدار فاکتور تطابق برای هر یک از مولفه‌های تشکیل دهنده لیتولوژی یعنی ماسه سنگ m_{sand}، سنگ آهک ml_{ime}، دولومیت m_{dol} و ایلیت m_{clay} محاسبه شد. مقادیر ۰/۰۵۱۷ و ۰/۰۱۲- به ترتیب فاکتور تطابق چگالی زمینه سنگ با ضریب سیمان‌شدگی به دست آمده از آنالیز مغزه در زون‌های آبی و نفتی است. در شکل ۳ نمودارهای متقاطع مربوط به محاسبه این مقادیر آورده شده است.

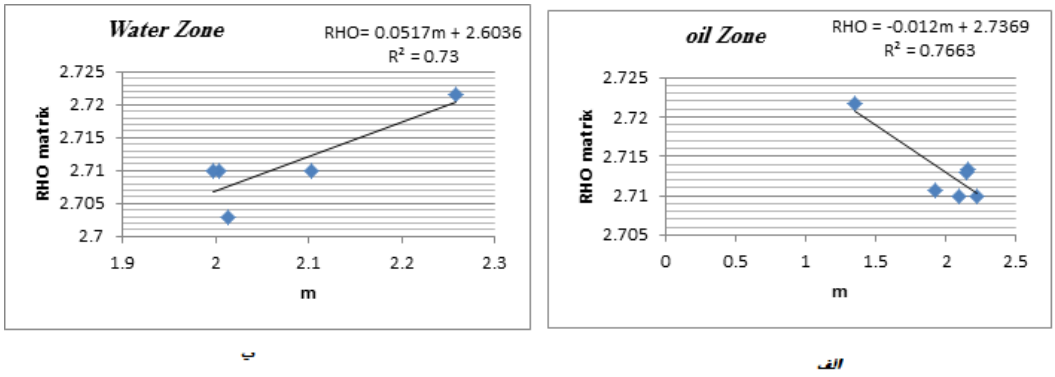
$$\begin{cases} 0.742m_{lime} + 0.021m_{sand} + 0.006m_{dol} = 0.0517 \\ 0.651m_{lime} + 0.002m_{clay} + 0.103m_{sand} + 0.111m_{dol} = -0.012 \\ 0.89m_{lime} + 0.023m_{clay} + 0.002m_{dol} = 0.0517 \\ 0.832m_{lime} + 0.004m_{clay} + 0.006m_{sand} + 0.009m_{dol} = -0.012 \end{cases} \quad (۱۰)$$

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲: قسمتی از نگارهای پتروفیزیکی چاه مورد مطالعه



ب الف

شکل ۳: نمودارهای متقاطع m- RHO matrix در زون‌های نفتی (شکل الف) و آبی(شکل ب)

با جایگذاری مقادیر فاکتور تطابق هر یک از مولفه‌های لیتولوژی و مقدار چگالی زمینه سنگ محاسبه شده در رابطه (۹)، مقدار ضریب سیمان شدگی به طور پیوسته در سرتاسر سازند محاسبه می‌شود.

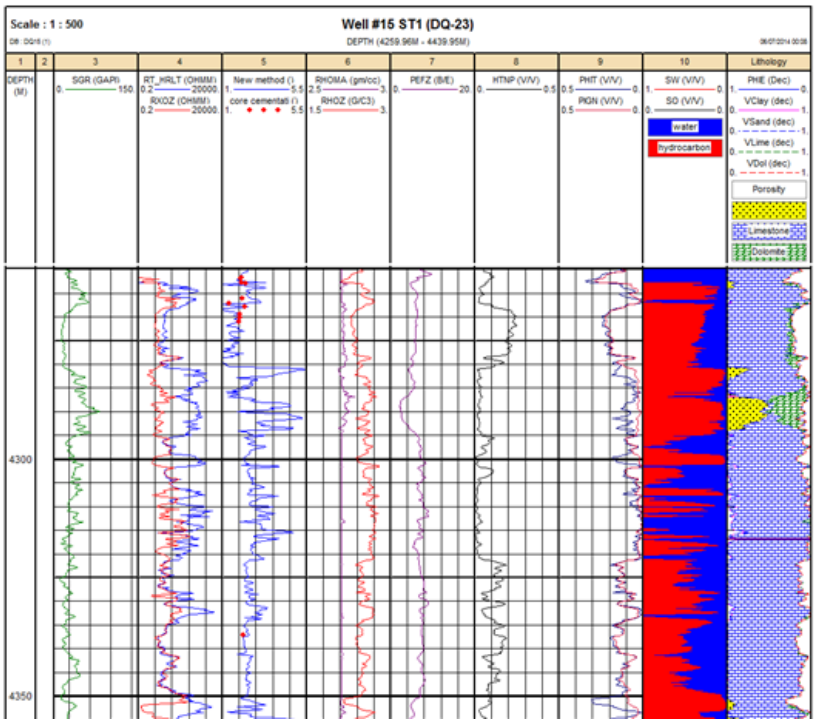
در شکل ۴ نگار تغییرات ضریب سیمان شدگی به دست آمده از این رابطه ارائه گردیده است. همان طور که در نگار مشاهده می‌شود، در قسمت‌هایی از سازند که آهک به دولومیت تبدیل شده است مقدار ضریب سیمان‌شدگی به ۵/۵ می‌رسد که این موضوع توسط مطالعات لوسیا نیز قابل تایید است. لوسیا بر اساس مطالعات خود که بر روی مغزه‌های میادین کربناته انجام داده بود، اعلام کرد که مقدار ضریب سیمان‌شدگی در مخازن کربناته با تخلخل واگی و بین دانه‌ای تا ۵/۵ افزایش می‌یابد.

از مقایسه نگار به دست آمده با نگار چگالی، روند مشابهی در هر دو نگار مشاهده می‌گردد که این تایید کننده رابطه نزدیک و مستقیم ضریب سیمان‌شدگی با نگار

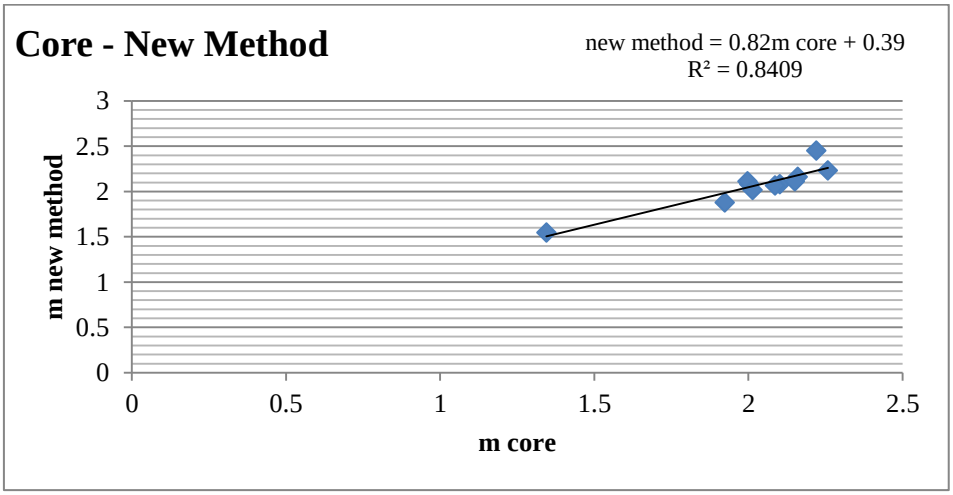
www.SID.ir

Archive of SID

چگالی است. از مقایسه نتایج به دست آمده با نتایج حاصل از آزمایشات مغزه که در شکل ۵ آمده است، درصد هم بستگی مقادیر با یکدیگر برابر با ۸۴/۰۹ درصد است و نتیجه قابل قبولی محسوب می‌شود.



شکل ۴: ستون پنجم،نگار ضریب سیمان‌شدگی محاسبه شده با استفاده از نگار چگالی است



شکل۵: مقایسه نتایج به دست آمده با مقادیر ضریب سیمان‌شدگی حاصل از آزمایشات مغزه

۴- نتیجه‌گیری

تغییر در میزان سیمان‌شدگی بین دانه‌های سنگ، نوع لیتولوژی و نوع سیمان بین دانه‌ها، سبب ایجاد تغییر در نگار چگالی می‌شود. بنابرین با استفاده از نگار چگالی و مشخص نمودن رابطه آن با سیمان‌شدگی بین دانه‌های سنگ، امکان تعیین ضریب سیمان‌شدگی قانون آرچی وجود دارد. در این مطالعه با تعیین جنس و حجم و تغییرات لیتولوژی در سازند و مشخص نمودن میزان تطابق بین تغییرات نگار چگالی و ضریب سیمان‌شدگی، در نهایت رابطه‌ای جهت محاسبه ضریب سیمان‌شدگی به صورت پیوسته در سرتاسر سازند ارائه شد که میزان همبستگی نتایج حاصل از این روش با نتایج حاصل از آزمایشات مغزه برابر با ۸۴/۰۹ درصد است و مقدار قابل قبولی به حساب می‌آید.

www.SID.ir

Archive of SID

مراجع

[1] Rafiee.S, Hashemi.A, Shahi.M, (2013). "New cementation factor correlation in carbonate parts of south-west Iranian oil field", UDC 622.276, pp227-253,

[2] Archie.G.E,(1941)." The electrical resistivity log as an aid to determining some reservoir characteristic", Dallas meeting

[3] Hamada.G.M, Almajed.A.A,(2013) "Analysis of Archie's parameters determination techniques in carbonate reservoirs", J petrol explor Prod Technol, 3:1-10.

[4] Hassani-giv.M, Rahimi.M,(2008) "New correlation for porosity exponent in carbonate reseroirs of iranain oil fields in zagros basin", JUST, Vol 34, No.2, pp 1-7

[5] Hamada.G.M, Okasha.T.M, Algathe.A.A,(2010)."Uncertainly analysis of Archies parameters determination technique in carbonate reservoirs", OGEP161.pp 1-10

[6] Regland.D.A, "trend in cementation exponents (m) for carbonate pore systems", SPA, Vol.43, Issue 05, 2002.

[7] Ellis.D.V, Singer.J.M, 2007, "well logging for earth scientists". Second edition, Springer-verlag, Berlin Heidelberg, Germany.

www.SID.ir