

بررسی معادلات تجربی و ارائه یک معادله برای محاسبه ضریب سیمان شدگی در یکی از میادین کربناته سازند آسماری واقع در جنوب غربی ایران

پژوهش نفت

سال نوزدهم
شماره ۶۰
صفحه ۱۱۱-۱۰۴، ۱۳۸۸

کاظم سعادت*، عزت‌اله کاظم‌زاده، محمدرضا اصفهانی و رضوان بهین

پژوهشگاه صنعت نفت، پژوهشکده اکتشاف و تولید

saadat@ripi.ir

این ضرایب برای هر سازند با انجام آزمایش تعیین شوند. نتایج همچنین نشان می‌دهند ضریب همبستگی بین ضریب سیمان شدگی و تخلخل برای نمونه‌های سازند مورد مطالعه برابر ۷۶ درصد می‌باشد و با جداسازی نمونه‌ها با تخلخل کمتر از ۵ درصد و بیشتر از ۵ درصد می‌توان به روابط دقیق‌تری برای تعیین ضریب سیمان شدگی دست یافت.

واژه‌های کلیدی: مقاومت ویژه سازندی، ضریب سیمان‌شدگی، تخلخل، سنگ‌های کربناته، تطابق

مقدمه

محاسبه اشباع شدگی هیدروکربن به‌طور غیر مستقیم با اطلاعات نگارهای پتروفیزیکی و با استفاده از معادله‌های اشباع شدگی آب صورت می‌گیرد. یکی از اساسی‌ترین روابط محاسبه اشباع شدگی آب، رابطه آرچی است [۱]:

$$S_w = \left[\frac{a}{\Phi^m} * \frac{R_w}{R_t} \right]^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

در این معادله S_w اشباع آب، ϕ تخلخل، R_w مقاومت آب

چکیده

برای تعیین ذخیره هیدروکربن مخازن، محاسبه اشباع شدگی سیالات دارای اهمیت زیادی است و روابط آرچی به‌منظور تعیین اشباع شدگی آب در مخازن هیدروکربنی مورد استفاده قرار می‌گیرد. این روابط دارای ضرایبی هستند که در آزمایشگاه تعیین می‌شوند و در صورت غیر قابل دسترس بودن نتایج آزمایشگاهی، از مقادیر ثابتی استفاده می‌گردد، با توجه با ساختار ناهمگون در سنگ‌های کربناته، استفاده از مقادیر ثابت منجر به خطای زیادی در محاسبات می‌شود. در این مطالعه به منظور بررسی ارتباط مقاومت ویژه سازندی و تخلخل و همچنین ارائه رابطه‌ای تجربی بین ضریب سیمان شدگی و تخلخل و تعیین میزان تطابق این رابطه با روابط ارائه شده توسط سایر محققین، اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی مقاومت الکتریکی بر روی مغزه‌های یکی از میادین کربناته ایران در سازند آسماری انجام گرفته است. بر اساس نتایج، رابطه بورایی با نتایج آزمایشگاهی سازند مورد مطالعه تطابق بیشتری دارد و می‌توان با تغییر ضرایب این معادله آن را برای سازند مورد مطالعه به‌کار گرفت. برای تعیین ضریب سیمان شدگی یک رابطه خاص را نمی‌توان به‌کار برد و لازم است

بعضی از معادلات تجربی، از مقادیر تخلخل آزمایشگاهی استفاده شده و در بعضی دیگر آن را به تخلخل حاصل از نمودارهای چاه‌نگاری ارتباط داده‌اند. فرمول‌های ارائه شده دارای محدودیت‌هایی هستند که توسط محقق مورد نظر به آن اشاره شده است. لذا معادلات، حاصل مطالعه در میادین خاصی می‌باشد که استفاده از آن در میدان‌های دیگر با احتیاط صورت می‌گیرد و قبل از استفاده وسیع، باید به صورت محلی مورد آزمایش قرار گرفته و با مقادیر واقعی حاصل از داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شوند.

فرمول شل (معادله ۲)، از مطالعه نمونه‌های دولومیتی در غرب تگزاس برای تعیین مقادیر m در محیط کربناته عمیق به دست آمده است [۸]:

$$m = \frac{0.019}{\phi} + 1.87 \quad (2)$$

بر اساس فرمول فوق، در نمونه‌های سازند مورد مطالعه، مقدار ضریب سیمان‌شدگی با کاهش تخلخل افزایش می‌یابد. بورایی، در سنگ‌های کربناته دور از ساحل ابوظبی پی برد که فرمول شل برای تخلخل کمتر از ۱۰ درصد کاربرد ندارد. وی با استفاده از داده‌های مغزه، معادله زیر را برای ارتباط بین ضریب سیمان‌شدگی و تخلخل ارائه کرد [۹]:

$$m = 2.2 - \frac{0.035}{\phi + 0.042} \quad (3)$$

در نمونه‌های ابوظبی که از جنس آهک تمیز با تخلخل بین دانه‌ای و حفره‌ای خوب توسعه یافته می‌باشند، با افزایش تخلخل، ضریب سیمان‌شدگی نیز افزایش می‌یابد.

فوک و مان مشاهده کردند که فاکتور سیمان‌شدگی علاوه بر مقدار تخلخل به جنس سنگ و سیستم تخلخل نیز ارتباط دارد و فرمول‌های زیر را بر اساس نوع سنگ و تخلخل در سنگ‌های کربناته ارائه کردند [۳]:

آن‌ها برای گرینستون‌های آهکی و دولومیتی با تخلخل بین دانه‌ای، مقدار ضریب سیمان‌شدگی را عدد ۲ و برای سنگ آهک با تخلخل قالبی بر اساس مقدار تراوایی، فرمول‌های زیر را ارائه دادند:

$$m = 1.2 + 0.128\phi \quad (k < 0.1 \text{ mD}) \quad (4)$$

$$m = 1.4 + 0.0857\phi \quad (0.1 < k < 1 \text{ mD}) \quad (5)$$

$$m = 1.2 + 0.0829\phi \quad (k = 1 \text{ to } 100 \text{ mD}) \quad (6)$$

$$m = 1.22 + 0.034\phi \quad (k > 100 \text{ mD}) \quad (7)$$

سازند و R_p مقاومت ویژه واقعی سازند می‌باشند. m ، a و n که به ضرایب آرچی مشهورند، به ترتیب ضرایب پیچاپیچی، سیمان‌شدگی و نمای اشباعی نامیده شده‌اند که در آزمایشگاه به دست می‌آیند. در آزمایشگاه دو روش برای پردازش ضرایب سیمانی‌شدگی و پیچاپیچی به کار برده می‌شود [۲]. در روش اول (روش آرچی)، با فرض $a=1$ به صورت جبری شیب خط (مقدار m) مشخص می‌شود. روش دوم، روش بهترین برازش است. وقتی که منحنی آرچی کاملاً نتواند از نقاط داده عبور کند، در این حالت منحنی رسم می‌شود که بهترین برازش را نسبت به کلیه نقاط داشته باشد. محل برخورد این خط بر روی نمودار لگاریتمی-لگاریتمی ($F-\phi$) که در تخلخل ۱۰۰ درصد محور قائم فاکتور سازندی را قطع می‌کند، مقدار a را نشان می‌دهد.

عدم قطعیت در ضرایب آرچی منجر به خطای زیادی در تعیین اشباع سیالات می‌شود. ثابت شده است به علت وابستگی ضریب سیمان‌شدگی به شکل هندسی منافذ در سنگ‌های کربناته، بیشترین خطا را در محاسبه اشباع‌شدگی ایجاد می‌کند. معادلات آرچی، پایه مفهوم‌هایی را برای تجزیه و تحلیل نمودارهای الکتریکی در سنگ ایجاد کرد اما نتایج حاصل از این معادلات در سنگ‌های کربناته به دلیل ساختار پیچیده این گونه سنگ‌ها، عمومیت نداشته و مقادیر ضرایب ثابت برای تمامی مخازن کاربرد ندارند [۳ و ۴]. به همین دلیل تلاش‌های زیادی توسط محققین برای تخمین ضرایب آرچی صورت گرفته و مدل‌های مختلفی برای تعیین ضرایب آرچی ابداع شده است. استفاده از لاگ انحراف سرعت و مطالعه مقاطع نازک [۵]، استفاده از واحدهای جریان هیدرولیکی برای دسته‌بندی نمونه‌ها [۶] و تعیین واحدهای جریان الکتریکی [۷]، روش‌هایی هستند که اخیراً برای تعیین ضرایب آرچی در سنگ‌های کربناته مورد استفاده قرار می‌گیرند. همچنین استفاده از پارامترهای آزمایشگاهی تخلخل، تراوایی و اطلاعات حاصل از نگارهای پتروفیزیکی برای تعیین روابط تجربی به منظور تعیین ضریب سیمان‌شدگی است که بیشتر این روابط، مقدار m را با تخلخل مرتبط می‌کند به طوری که بعضی از روابط آن را با تراوایی نیز ارتباط داده‌اند. در

- برای نمونه‌های با تخلخل بین ذره‌ای:

$$m = -0.44v + 2.29 \quad (13)$$

که در این رابطه v درصد تخلخل بین ذره‌ای است. راسموس، برای تعیین مقدار ضریب سیمان‌شدگی در سازندهای کربناته دارای شکستگی، فرمول زیر را ارائه کرد [۱۳]:

$$m = \frac{\log [\phi_s^3 + \phi_s^2(1 - \phi_t) + (\phi_t - \phi_s)]}{\log \phi_t} \quad (14)$$

رابطه دیگری که m را با سه پارامتر حاصل از نگارهای پتروفیزیکی برای سنگ‌های با تخلخل حفره‌ای ربط می‌دهد به صورت زیر است [۱۴]:

$$m^2 = 3.75 - \phi + \frac{[\text{Log}(Rw/Rtirr) + 2.2]^2}{2} \quad (15)$$

که در این رابطه Rw مقاومت ویژه آب سازندی و $Rtirr$ مقاومت ویژه سازند در منطقه اشباع کاهش نیافتنی می‌باشند. هامبل نیز رابطه زیر را برای تعیین ضریب سیمان‌شدگی از روی داده‌های نفوذپذیری ارائه کرد [۱۴]:

$$m = 1.28 + \frac{2}{\text{Log}K + 2} \quad (16)$$

رابطه ۱۷ بین تخلخل و ضریب سیمان‌شدگی توسط ستی [۱۵]، و رابطه ۱۸ توسط لوسیا [۴] ارائه شدند:

$$m = 2.05 + \phi \quad (17)$$

$$m = 2.14(\phi_{sr}/\phi_t) + 1.76 \quad (18)$$

تنوع روابط ارائه شده بیانگر این مطلب است که کارایی این روابط در مخازن مورد مطالعه بایستی با داده‌های واقعی حاصل از آزمایش مغزه تطابق داده شوند.

مراحل انجام کار

برای انجام این تحقیق، تعداد ۱۰۰ نمونه پلاگ مغزه به قطر ۳۸ mm و طول حدود ۷۶ mm انتخاب شد. پس از شستشوی نمونه‌ها با حلال تولوئن و متانول، تخلخل و وزن مخصوص دانه‌ای نمونه‌ها توسط دستگاه Ultraporosimeter 200A اندازه‌گیری شدند. در این دستگاه پس از انجام کالیبراسیون‌های لازم، نمونه داخل مغزه نگهدار قرار گرفته و پس از اعمال فشار همه جانبه، گاز هلیوم که در یک محفظه با فشار معین قرار دارد به داخل نمونه تزریق شد. با استفاده از قانون بویل و در نظر گرفتن دمای ثابت، حجم

برای سنگ‌های مادستون و گچی با تخلخل زمینه، مقدار ضریب سیمان‌شدگی را عدد ۲ و برای سنگ‌های پکستون و وکستون با تخلخل حفره‌ای بدون ارتباط، بزرگتر از ۲ و سنگ‌های با تخلخل شکستگی، عدد کوچکتر از ۲ را گزارش کردند.

نوگنت برای محاسبه فاکتور سیمان‌شدگی در یک سازند ریفی در تگزاس، فرمولی را ارائه کرد [۱۰]. او از نمودارهای چاه‌نگاری مختلف برای محاسبه مقدار نسبی m استفاده کرد. همچنین، در این کار از دو نمودار نوترون و چگالی برای محاسبه تخلخل کل و از نمودار صوتی برای تعیین تخلخل مؤثر استفاده شد:

$$m = \frac{2 \text{Log} \phi_s}{\text{Log} \phi_t} \quad (8)$$

در این رابطه ϕ_s تخلخل حاصل از نگار صوتی و ϕ_t تخلخل کل می‌باشند.

آسکویت، با تغییر مدل نوگنت فرمول جدیدی ارائه کرد. او در تشخیص بین تخلخل زمینه و تخلخل حفره‌ای در مدل ارائه شده توسط نوگنت، تعاریف نورمی را برای نمونه‌های با تخلخل قالبی را به کار برد [۱۱]:

$$\phi_{vug} = 2(\phi_t - \phi_s) \quad (9)$$

$$\phi_m = \phi_t - 2(\phi_t - \phi_s) \quad (10)$$

$$m \geq \frac{(2 \log \phi_m)}{(\log \phi_t)} \quad (11)$$

در این رابطه m ضریب سیمان‌شدگی، ϕ_m تخلخل قالبی، ϕ_{vug} برابر با تخلخل حفره‌ای و ϕ_t تخلخل کل می‌باشند. رگلاند، ۹۸ نمونه از مغزه‌های حفر شده در محل‌های مختلف (با انواع تخلخل) و از محیط‌های مختلف رسوب‌گذاری را مورد مطالعه قرار داد [۱۲]. او نشان داد که در نمونه‌های با تخلخل‌های ریز (تخلخل انحلالی، میکروسکوپی و شکستگی‌های ریز)، این نوع تخلخل‌ها تأثیر کمتری بر روی m دارند که با توجه به درصد فراوانی تخلخل‌های قالبی و بین ذره‌ای دو رابطه ساده برای پیش‌بینی m در نمونه‌های با تخلخل قالبی و بین ذره‌ای ارائه کرد:

$$m = e^v + 0.7 \quad (12)$$

که در این رابطه v درصد تخلخل قالبی است.

گاز تزریق شده اندازه‌گیری شد. P_w شوری آب سازند بر حسب ppm و T_f دمای سازند بر حسب درجه فارنهایت می‌باشند.

در نهایت ضریب مقاومت ویژه سازندی با استفاده از رابطه زیر برای تمامی نمونه‌ها محاسبه شد:

$$FRF = \frac{R_o}{R_w} \quad (22)$$

همچنین با توجه به رابطه آرچی، مقادیر ضریب سیمان شدگی برای تمامی نمونه‌ها به دست آمد:

$$FRF = \frac{1}{\phi^m} \quad (23)$$

بحث و نتایج

معادلات تجربی ارائه شده توسط محققین، بیشتر از تخلخل برای محاسبه ضریب سیمان‌شدگی استفاده کرده‌اند که برخی تخلخل حاصل از نگارهای پتروفیزیکی و برخی تخلخل آزمایشگاهی را مورد استفاده قرار داده‌اند. در این میان در برخی معادلات سعی شده است تا مقدار ضریب سیمان‌شدگی با تراوایی ارتباط داده شود. ارتباط ضریب سیمان‌شدگی و تخلخل کل نمونه‌ها برای سازند مورد مطالعه بیانگر همبستگی نسبتاً قابل قبول ($R^2 = 0.76$) بین آن دو بوده (شکل ۱) و معادله توانی به شکل $Y = a X^b$ برای سازند مورد مطالعه دارای ضریب همبستگی بالایی می‌باشد:

$$m = 3.49 \phi^{0.207} \quad (24)$$

در این مطالعه به منظور تعیین ضریب مقاومت ویژه سازندی، نمونه‌های صد درصد اشباع از آب با شوری سازند مورد مطالعه، در داخل سیستم مغزه نگهدار دستگاه FRF قرار داده شد. سپس با اعمال فشار ۲۷۶ bar به صورت همه جانبه و ایجاد شرایط تعادل، مقدار مقاومت الکتریکی نمونه بر حسب اهم توسط دستگاه HIOKI3522-LCRHITESTER اندازه‌گیری شد. تصحیح دمایی برای مقاومت الکتریکی طبق رابطه زیر صورت گرفت (آرپس، و ورتینگتون و همکاران):

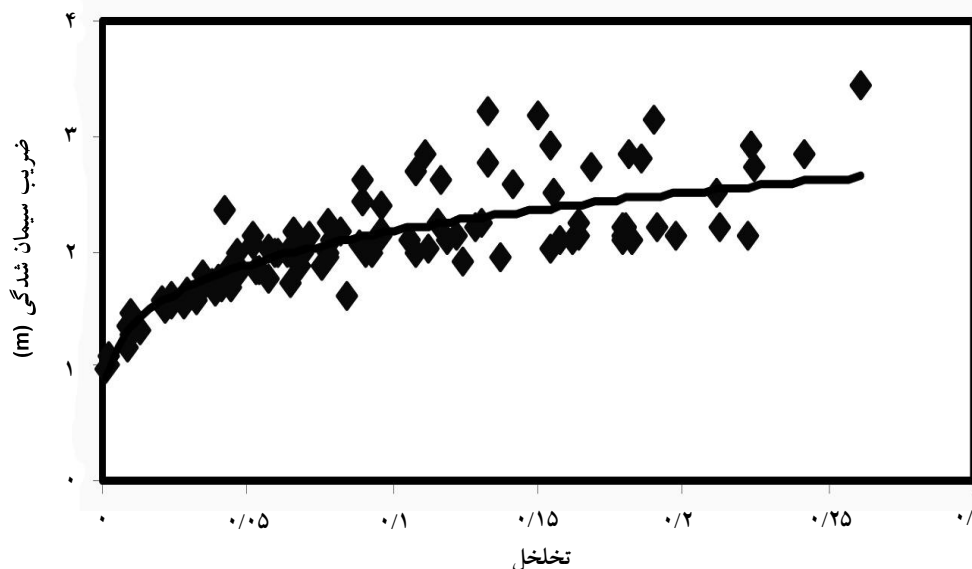
$$R_2 = \frac{R_1(T_1 + 21.5)}{(T_2 + 21.5)} \quad (19)$$

در این رابطه R_1 و T_1 به ترتیب مقاومت الکتریکی و دما در حین آزمایش بوده و R_2 و T_2 به ترتیب مقاومت الکتریکی و دما در شرایط دمای مورد نظر می‌باشند. سپس با استفاده از این مقادیر، مقاومت ویژه الکتریکی نمونه و مقاومت ویژه آب سازندی با استفاده از روابط زیر تعیین شدند [۱۶]:

$$R_o = R \frac{A}{L} \quad (20)$$

$$R_w = \left[\left(\frac{400000}{T_f} \right) / P_w \right]^{0.88} \quad (21)$$

در روابط فوق A سطح مقطع نمونه و L طول نمونه،



شکل ۱- نمودار تغییرات ضریب سیمان‌شدگی بر حسب تخلخل

۳۵ درصد، مقدار ضریب سیمان‌شدگی، عدد ۲ را به دست آوردند در حالی که برای تخلخل کمتر از ۵ درصد مقدار ضریب سیمان‌شدگی را کمتر از ۲ مشاهده کرده‌اند.

بر اساس اهمیت معادلات تجربی ارائه شده و بررسی سازگاری آنها با سنگ‌های کربناته سازند مورد مطالعه و در صورت امکان تعمیم آنها، روابط شل، ستی، هامبل، بورایی، نوگنت و نوگنت-آسکویت انتخاب و ضریب سیمان‌شدگی با استفاده از داده‌های مغزه و نگارهای پتروفیزیکی برای این روابط محاسبه شد. به دلیل عدم وجود درزه و شکاف در نمونه‌های مطالعه شده توسط محققین فوق، برای مقایسه دقیقتر، نمونه‌های دارای درزه و شکاف حذف شدند. مقایسه مقادیر آزمایشگاهی ضریب سیمان‌شدگی و مقادیر حاصل از فرمول‌های فوق در نمودارهای شکل ۲ آمده است. همچنین ضریب همبستگی خطی بین مقادیر حاصل از فرمول‌های فوق و نتایج آزمایشگاهی در سازند مورد مطالعه در جدول ۱ آمده است.

مقایسه نتایج نشان می‌دهد مقادیر ضریب سیمان‌شدگی نمونه‌های سازند آسماری مورد مطالعه حاصل از آزمایشگاه با مقادیر m محاسبه شده از روابط شل و هامبل، رابطه عکسی دارد و نتایج کراس‌پلات‌های مقادیر m نمونه‌های مذکور در آزمایشگاه، در مقایسه با رابطه ستی، بورایی، نوگنت و نوگنت-آسکویت ارتباط مستقیمی را نشان می‌دهد. در این نتایج، بهترین روند (شیب نزدیک ۱) با فرمول نوگنت-آسکویت و بیشترین ضریب همبستگی با فرمول بورایی مطابقت دارد. بورایی در مطالعه خود به

همان‌طور که در شکل ۱ مشاهده می‌شود، روند تغییرات ضریب سیمان‌شدگی نسبت به تخلخل برای نمونه‌های با تخلخل کم و زیاد متفاوت می‌باشد، به طوری که پراکندگی داده‌ها با افزایش تخلخل افزایش می‌یابد.

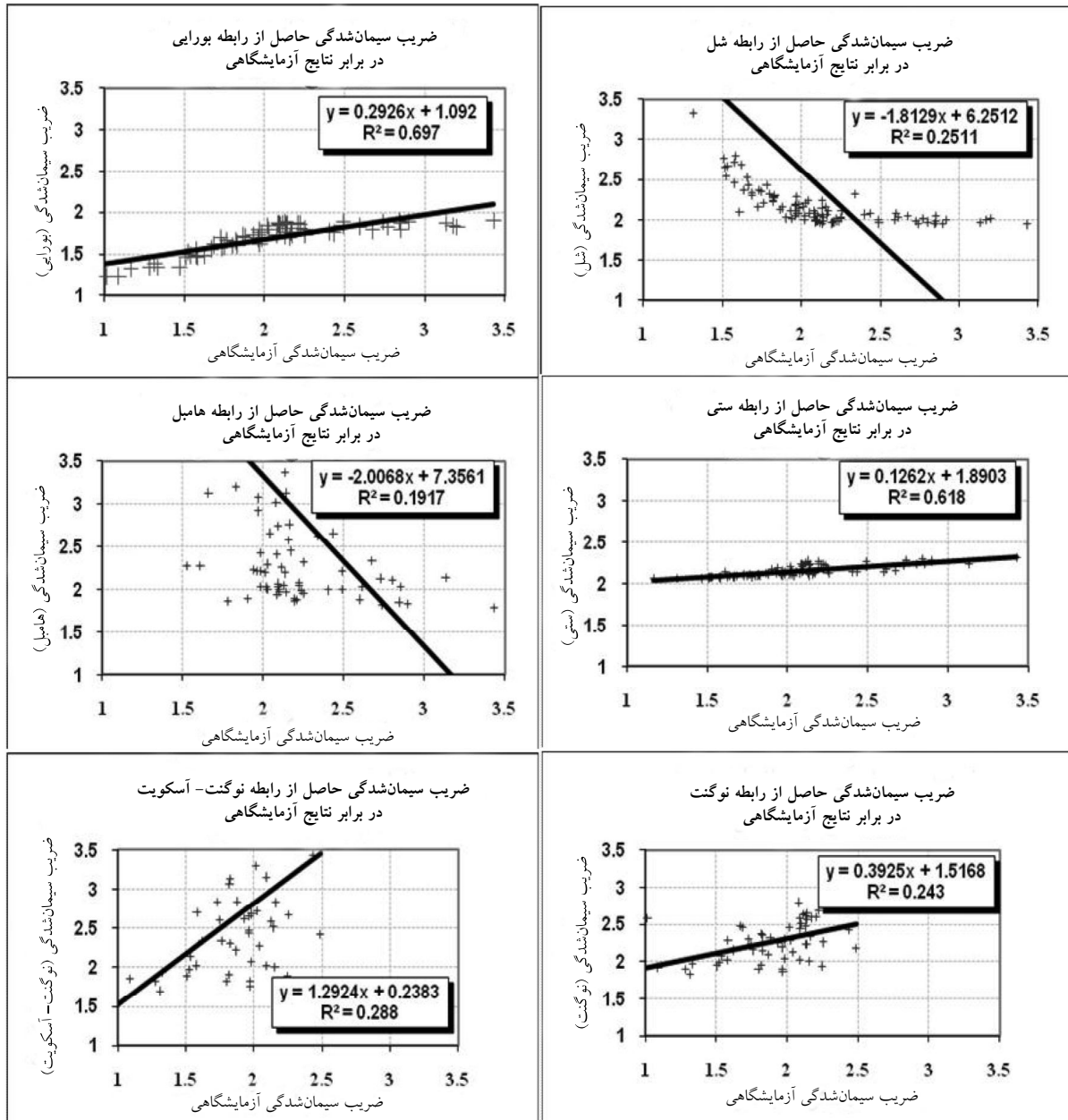
همچنین روند تغییرات ضریب سیمان‌شدگی در رابطه آرچی، بر حسب تخلخل برای تخلخل‌های کمتر از ۵ درصد و بیشتر از آن متفاوت است به طوری که در تخلخل‌های کمتر از ۵ درصد بین ضریب سیمان‌شدگی و تخلخل، رابطه خطی زیر با ضریب همبستگی (R^2) برابر ۰/۷۳ ارائه می‌شود:

$$m = 12.51 \phi + 1.13 \quad (R^2 = 0.73) \quad (25)$$

در حالی که برای تخلخل‌های بیش از ۷/۵ درصد، ارتباط مناسبی بین ضریب سیمان‌شدگی و تخلخل وجود ندارد. بنابراین نتایج حاصل بیانگر ارتباط خوب ضریب سیمان‌شدگی با تخلخل در تخلخل‌های پایین می‌باشد در حالی که با افزایش مقدار تخلخل این همبستگی ضعیف می‌شود زیرا به نظر می‌رسد با افزایش تخلخل فرض $a=1$ از اعتبار کمتری برخوردار است که می‌تواند به دلیل تنوع در نوع تخلخل در سنگ‌های کربناته و وابستگی شدید ضریب سیمان‌شدگی به نوع تخلخل باشد. شبیه همین مطلب توسط فوک و مان [۳] در مخازن کربناته در خصوص ضریب سیمان‌شدگی مطرح شده است. آنها برای سنگ‌های آهکی و دولومیت‌های دانه‌ای با تخلخل بین دانه‌ای و دولومیت‌های با تخلخل بین کریستالی و سنگ با تخلخل فقط خمیره در محدوده تخلخل ۵ تا

جدول ۱- نتایج نهایی مقایسه مقادیر ضریب سیمان‌شدگی آزمایشگاهی با روابط تجربی مهم

ارائه دهنده	فرمول تجربی	ضریب همبستگی مربوطه
شل	$m = (0.019/\phi) + 1.87$	۲۵
ستی	$m = 2.05 + \Phi$	۶۲
بورایی	$m = 2.2 - \frac{0.035}{\phi + 0.042}$	۷۰
هامبل	$m = 1.28 + 2/(\log k + 2)$	۱۹
نوگنت	$m = \frac{2 \text{Log} \phi_s}{\text{Log} \phi_t}$	۲۴
نوگنت-آسکویت	$m \geq \frac{(2 \log \Phi_m)}{(\log \Phi_t)}$	۲۹



شکل ۲- نمودارهای مربوط به مقایسه ضریب سیمان‌شدگی آزمایشگاهی با روابط تجربی مهم

شکل کلی رابطه بورایی همخوانی دارد اما همان‌طورکه از نمودار مقایسه معلوم است در تخلخل‌های بالا نتایج از هم فاصله می‌گیرند. در رابطه ستی نیز با افزایش تخلخل، ضریب سیمان‌شدگی افزایش می‌یابد اما در این رابطه بین تخلخل‌های زیاد و کم تفاوتی وجود ندارد. در رابطه هامبل به‌علت دامنه‌های وسیع بین ارتباط تخلخل و تراوایی و بین سیمان‌شدگی و تخلخل، حداقل در تخلخل‌های بالا نتیجه معکوس و با ضریب همبستگی پایین به‌دست آمده است.

اختلاف نتایج خود و آرچی و شل پی برده و بیان داشت که برای تخلخل‌های کمتر از ۱۰ درصد، فرمول شل کاربرد ندارد. در تخلخل‌های پایین، ضریب سیمان‌شدگی بیشتر تحت تأثیر تخلخل بوده و در تخلخل‌های بالا این ارتباط به علت تنوع در بافت و نوع تخلخل، صادق نمی‌باشد. در هر دو رابطه شل و بورایی، ضریب سیمان‌شدگی در تخلخل‌های پایین بیشتر متأثر از تخلخل است. رابطه ضریب سیمان‌شدگی با تخلخل نمونه‌های آسماری با

نمونه‌های سازند آسماری مورد مطالعه حاصل از آزمایشگاه با مقادیر m محاسبه شده از روابط شل و هامبل، رابطه عکسی را نشان می‌دهد و نتایج کراس پلات‌های مقادیر m نمونه‌های مذکور در آزمایشگاه، در مقایسه با فرمول سیتی، بورایی، نوگنت و نوگنت-آسکویت ارتباط مستقیمی را نشان می‌دهد. نتایج بهترین روند (شیب نزدیک ۱) را با فرمول نوگنت-آسکویت و بیشترین ضریب همبستگی را با فرمول بورایی دارد.

پیشنهادها

با توجه به اینکه تعمیم روابط آرچی برای یک میدان به سایر میداین به منظور تعیین اشباع سیالات منطقی نمی‌باشد پیشنهاد می‌شود در صورت عدم وجود داده‌های آزمایشگاهی در بخش‌های مختلف سازند آسماری، مخصوصاً تخلخل‌های پایین، از رابطه ارائه شده در این تحقیق که هم روند با رابطه بورایی است استفاده شود. همچنین به نظر می‌رسد با مطالعات بیشتر و تغییرات در رابطه نوگنت-آسکویت، می‌توان به روابط بهتری برای محاسبه ضرایب آرچی دست یافت.

در روابط نوگنت و مخصوصاً نوگنت-آسکویت به علت در نظر گرفتن تفاوت نوع تخلخل‌ها با استفاده از تکنیک اختلاف نوع تخلخل‌ها در نمودارهای چاه‌پیمایی، شیب خط مقایسه ضرایب سیمان‌شدگی آزمایشگاهی و حاصل از رابطه به ۱ نزدیک شده است و به نظر می‌رسد با تغییراتی در روابط و با در نظر گرفتن نوع بافت و درصد تخلخل به نتیجه بهتری می‌توان دست یافت.

نتیجه‌گیری

- در سازند مورد مطالعه، رابطه بین ضریب سیمان‌شدگی حاصل از رابطه آرچی و تخلخل مغزه با ضریب همبستگی $(R^2) 0.76$ وجود دارد.

$$m = 3.49 \phi^{0.207}$$

- روند تغییرات مقاومت ویژه سازندی با تخلخل در تخلخل‌های پایین و بالا متفاوت می‌باشد به طوری که با جداسازی نمونه‌ها با تخلخل کمتر از ۵ درصد و بیشتر از ۵ درصد می‌توان به روابط بهتری برای تعیین ضریب سیمان‌شدگی از روی تخلخل مغزه دست یافت.

- مقایسه نتایج نشان می‌دهد مقادیر ضریب سیمان‌شدگی

منابع

- [1] Archie G.E., "The electrical resistivity logs an aid in determining some reservoir characteristics", Petroleum Technology, Vol. 5, pp. 32-37, 1942.
- [2] Rahimi M., Rezaee M.R., Kazemzadeh E. & Saadat K., *Determination of Archie coefficients (m&a) and their various data processing, for Asmari formation, for one of the southern Iranian oil field*, 23rd Symposium on Geosciences, Tehran, 2005.
- [3] Focke J.W. & Munn D. "Cementation exponents (m) in Middle Eastern carbonate reservoirs", SPE-13735, SPE Formation Evaluation, Vol. 2, No. 2, pp.155-167, 1987.
- [4] Lucia F.J., *Petrophysical parameters estimated from visual description of carbonate rocks: a field classification of carbonate porespace*, JPT 35, 629. 1983.
- [5] Kazemzadeh E., Nabi Bidhendi M., Keramati M., Rezaee M.R. & Saadat K., "A new approach for the determination of cementation exponent in different petrofacies with velocity deviation logs and petrographical studies in the carbonate Asmari formation", Journal of Geophysics and Engineering, No. 4, pp. 160-170, 2007.

- [6] Kazemzadeh E., Nabi-Bidhendi M. & Rezaee M.R., "The study of formation resistivity factor by using hydraulic flow units method in carbonate reservoirs", Journal of Science Tehran university, Vol. 34, No. 1, pp. 13-21, 2008.
- [7] Rezaee M.R., Motiei H. & Kazemzadeh E., "A new method to acquire m exponent and tortuosity factor for microscopically heterogeneous carbonates", Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol. 56, pp. 241-251, 2007.
- [8] Schlumberger Well Services, *Log Interpretation Charts*, Schlumberger, Well Services 1986.
- [9] Borai A.M., "A new correlation for cementation factor in low-porosity carbonates", paper SPE 14401 presented at the 1985 SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Las Vegas, Sept., pp. 22-25, 1985.
- [10] Nugent W.H., Brie A., Johnson D.L. & Nurmi R.D., "Effect of spherical porosity acoustic and resistivity measurements", presented at the 1985 Soc. of Professional Well Log Analysts 26th Annual Logging Symposium, paper W, 1984.
- [11] Asquith G.B., *Handbook of log evaluation techniques for carbonate reservoirs: methods in exploration*, American Association of Petroleum Geologists, Series No. 5, 1985.
- [12] Ragland D.A., "Trends in cementation exponents(m) for carbonate, pore systems", Petrophysics, Vol. 43, pp. 434-446, 2002.
- [13] Rasmus J.C., *A variable cementation exponent, m , for fractured carbonates*, The Log Analyst (Nov.– Dec.), pp. 13-23, 1983.
- [14] Rezaee M., *Formation evaluation text book*, Tehran university, geology faculty.
- [15] Sethi D.K., *Some considerations about the formation resistivity factor-porosity relations*, 20th SPWLA Symposium, 1979.
- [16] Schlumberger, Inc. *Log interpretation-principles*, Schlumberger, Educational Services, Houston, TX, 1972.

اصلاحیه

در شماره ۵۹ مجله، در مقاله «مدل سازی سه بعدی انتقال حرارت تشعشعی در کوره ها با روش منطقه ای» نام آقای کاظم کاشفی، در ردیف دوم لیست نویسندگان جا افتاده بود که بدین وسیله اصلاح می گردد.