

## ضریب سیمان شدگی آزمایشگاهی به همراه بررسی معادلات تجربی ارائه شده در سازند سروک

فریبرز طالبی<sup>۱</sup>، فرنوش حاجی زاده<sup>۲</sup>، جعفر ولی<sup>۳\*</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکتری، دانشگاه ارومیه، [F.Talebi@urmia.ac.ir](mailto:F.Talebi@urmia.ac.ir)

آستادیار، دانشگاه ارومیه، [F.HajiZadeh@urmia.ac.ir](mailto:F.HajiZadeh@urmia.ac.ir)

<sup>۳\*</sup>دانشجوی دکتری، دانشگاه ارومیه، [J.Vali@urmia.ac.ir](mailto:J.Vali@urmia.ac.ir)

### چکیده

تعیین ضریب سیمان شدگی در سازند های کربناته یکی از موارد بحث برانگیز می باشد. بهترین روش تعیین این ضریب اندازه گیری آزمایشگاهی است. در این مطالعه رابطه تجربی بین ضریب سیمان شدگی و تخلخل ارائه شده است. همچنین اندازه گیری های آزمایشگاهی و روابط تجربی ارائه شده توسط سایر محققین بررسی شده است. این اندازه گیری بر روی تعداد ۱۶۵ نمونه کربناته سازند سروک در یکی از میداین گازی انجام شده است. بر اساس نتایج، برای تعیین ضریب سیمان شدگی یک رابطه تجربی خاص را نمی توان به کار برد، لازم است برای تعیین دقیق این ضریب مستقیماً بر روی نمونه مغزه آزمایش تعیین مقاومت الکتریکی صورت گیرد. این بررسی نشان می دهد رابطه تجربی فوک و مان با نتایج آزمایشگاهی سازند مورد مطالعه انطباق بهتری دارد. در تخلخل بالای ۲۰ درصد افزایش مقدار ضریب سیمان شدگی شدت می یابد. ضریب همبستگی بین ضریب سیمان شدگی و تخلخل برای نمونه های سازند مورد مطالعه ۷۹ درصد می باشد.

واژه های کلیدی: سنگ های کربناته، ضریب سیمان شدگی، تخلخل، سازند سروک، رابطه تجربی، مقاومت الکتریکی

## The laboratory cementation factor along with studying experimental equations presented in Sarvak formation

Jafar VALI<sup>1\*</sup>, Farnush HAJI ZADEH<sup>2</sup> and Fariborz TALEBI<sup>3</sup>

<sup>1</sup>PhD Student, Urmia University, [J.Vali@urmia.ac.ir](mailto:J.Vali@urmia.ac.ir)

<sup>2</sup>Assistant Professor, Urmia University, [F.HajiZadeh@urmia.ac.ir](mailto:F.HajiZadeh@urmia.ac.ir)

<sup>3\*</sup>PhD Student, Urmia University, [F.Talebi@urmia.ac.ir](mailto:F.Talebi@urmia.ac.ir)

### Abstract

Determination of cementation coefficient in carbonate formations is one of the most controversial issues among researchers. In the unavailability of this value the use of a fixed amount caused an obvious error. In this study we present an empirical relationship between cementation coefficient and porosity and determine the degree of conformance of this relationship with the relationships provided by other researchers.

Laboratory measurements on 165 samples of carbonate from Sarvak formation in one of the gas field. Based on the results a specific experimental relationship cannot be used to determine the cementation coefficient it is necessary to determine the electrical resistance directly to determine the exact coefficient of the test core. The study also shows that Fock and Mon's experimental relationship with the experimental results of the studied formation is better suited and can be applied with the improved equation for the study of formation. In the high porosity the increase in the amount of cementation coefficient increases by 20%. The correlation coefficient between the cementation coefficient and porosity for the samples of the studied formation is 79%.

**Keywords:** Carbonate rocks, Cementation Factor, Porosity, Sarvak Formation, Empirical relationship, Electrical Resistance

### ۱ مقدمه

رسانایی در سنگ ها به مقاومت ویژه آب موجود در خلل و فرج که خود وابسته به مقدار نمک محلول، دما، لیتولوژی و درصد رس موجود در سنگ و نیز نوع و درصد کانیهای رسانا و بافت سنگ یعنی چگونگی توزیع خلل و فرج و کانیهای رسانا بستگی دارد (کیلر "و همکاران ۱۹۶۶").

اطلاعات مربوط به اندازه‌گیری مقاومت الکتریکی پلاگهای مغزه در آزمایشگاه برای کالیبره کردن داده‌های لاگهای الکتریکی و همچنین شناسائی فواصل هیدروکربوری در یک چاه، مورد استفاده قرار میگیرند. همچنین این اندازه‌گیری کاربرد زیادی در ارزیابی اشباع شدگی آب در چاه پیمایی و مطالعات آزمایشگاهی دارد. یکی از اساسی‌ترین فرمولهای محاسبه اشباع شدگی آب، فرمول آرچی برای سنگهای ماسه سنگی بدست آورده است (آرچی، "۱۹۴۲"):

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

که در این رابطه  $a$  ضریب پیچاپیچی،  $m$  ضریب سیمان شدگی،  $R_w$  مقاومت آب سازند،  $R_T$  مقاومت اهمی نمونه،  $\Phi$  تخلخل و  $n$  نمای اشباعی تعریف شده‌اند.

فوک "و همکاران ۱۹۸۷" مشاهده کردند که فاکتور سیمان شدگی 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:

$$(k < 0.1 \text{ mD}) \quad m = 1.2 + 0.128\Phi \quad (2)$$

$$(0.1 < k < 1 \text{ mD}) \quad m = 1.4 + 0.0857\Phi \quad (3)$$

$$(1 < k < 100 \text{ mD}) \quad m = 1.2 + 0.0829\Phi \quad (4)$$

$$(k > 100 \text{ mD}) \quad m = 1.22 + 0.034\Phi \quad (5)$$

شل "۱۹۸۷" از مطالعه نمونه‌های دولومیتی برای تعیین مقادیر  $m$  در محیط کربناته معادله (۶) را بدست آورده در این رابطه با افزایش تخلخل ضریب سیمان شدگی کاهش می‌یابد:

$$m = 1.87 + \frac{0.019}{\Phi} \quad (6)$$

بورایی "۱۹۸۵" در سنگ‌های کربناته پی برد که فرمول شل برای تخلخل کمتر از ده درصد کاربرد ندارد. وی برای بهبود رابطه شل معادله (۷) را ارائه کرد. در این رابطه با افزایش تخلخل، ضریب سیمان شدگی نیز افزایش می‌یابد:

$$m = 2.02 - \frac{0.035}{\Phi + 0.042} \quad (7)$$

رگلاند "۲۰۰۲" سنگهای کربناته با تخلخل مختلف در محیط رسوب گذاری متفاوت را مورد بررسی قرار داد. او نشان داد که در نمونه‌های با تخلخل‌های ریز، انحلالی، میکروسکپی و شکستگی‌های ریز، این نوع تخلخل‌ها تأثیر کمتری بر روی  $m$  دارند که با توجه به درصد فراوانی تخلخل‌های قالبی و بین ذره‌ای روابطی را ارائه کرد. راسموس، "۱۹۸۳" برای تعیین مقدار ضریب سیمان شدگی در سازند‌های کربناته دارای شکستگی، و رابطه دیگری که  $m$  را با سه پارامتر حاصل از نگارهای پتروفیزیکی برای سنگ‌های با تخلخل حفره‌ای ربط می‌دهد ارائه کرد. هامبل نیز رابطه زیر را برای تعیین ضریب سیمان شدگی ارائه کرد:

$$m = 1.28 + \frac{2}{\log k + 2} \quad (8)$$

رابطه (۹) بین تخلخل و ضریب سیمان شدگی توسط ستی، "۱۹۷۹" و رابطه (۱۰) توسط لوسیا، "۱۹۸۳" ارائه شده است:

$$m = 2.05 + \Phi \quad (9)$$

$$m = 2.14 \frac{\Phi_S}{\Phi_T} + 1.76 \quad (10)$$

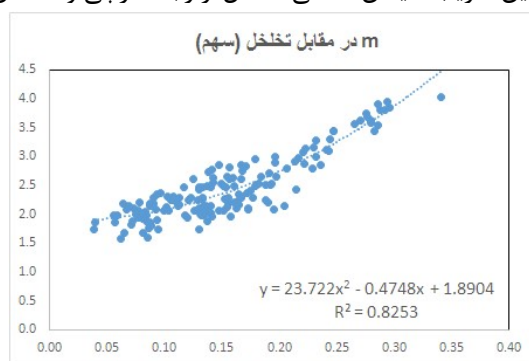
همانگونه که در روابط فوق نشان داده شده است برای مقدار  $m$  بر حسب تخلخل نشان دهنده آنست که این روابط در مخازن مورد مطالعه بایستی با داده‌های واقعی حاصل از آزمایش مغزه تطابق داده شوند.

## ۲ روش تحقیق

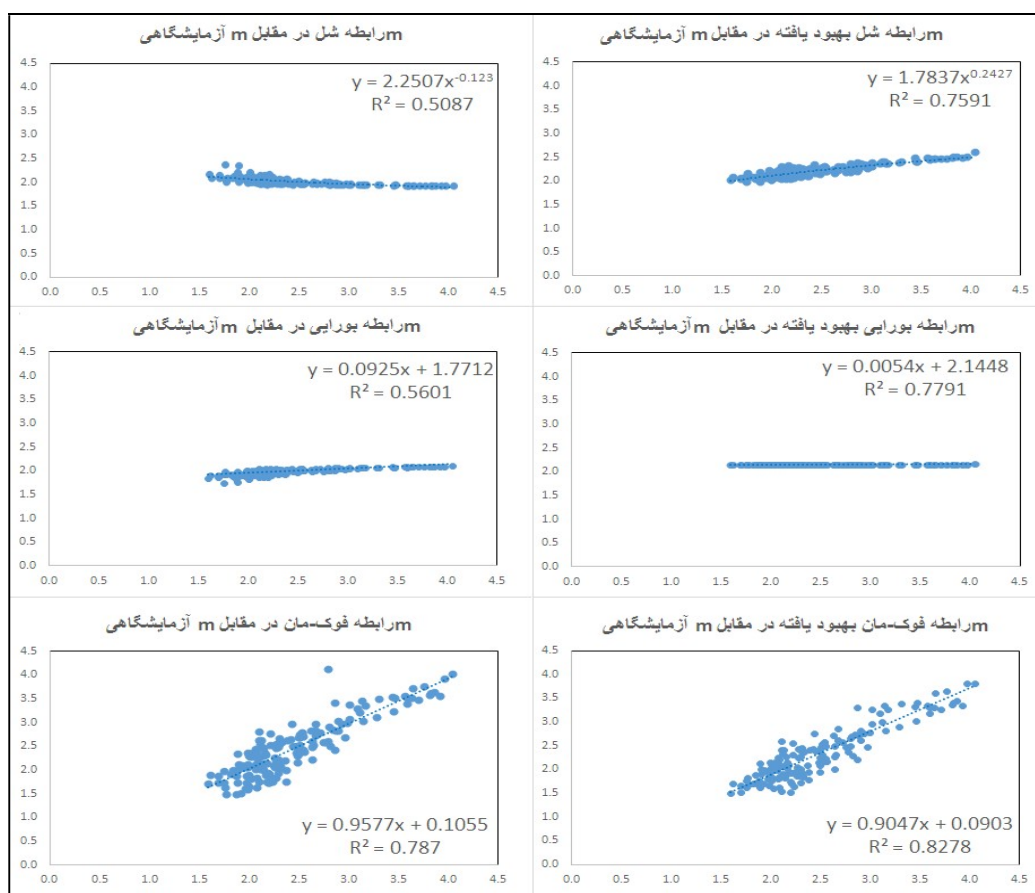
نمونه پلاگ با طول ۲ اینچ و قطر ۱/۵ اینچ تهیه و سپس نمونه با حلال مناسب شسته شده به طوریکه کاملاً عاری از وجود هر گونه سیال، نمکها، گل حفاری و مواد نفتی شده و در آون معمولی خشک می گردد. تخلخل و وزن مخصوص دانه ای نمونه و تراوایی مطلق نسبت به هوا اندازه گیری گردید. سپس خصوصیات مخزنی از قبیل فشار مخزن و شوری آب سازندی بازسازی گردید. برای اندازه گیری مقاومت ویژه در دستگاه Overburden Rig با استفاده از دستگاه مقاومت سنج HIOKI-LCR بر حسب اهم اندازه گیری شد.

## ۳ نتیجه گیری

برای نمونه های مورد مطالعه ضرب سیمان شدگی بر حسب تخلخل بصورت معادله درجه دوم  $Y=ax^2+bx+c$  دارای بالاترین ضریب همبستگی (۰/۸۲) که رابطه بین ضریب سیمان شدگی حاصل از رابطه آرچی و تخلخل مغزه را نشان می دهد. (شکل ۱)



شکل ۱. ضرب سیمان شدگی نمونه های آزمایشگاهی بر حسب تخلخل



شکل ۲. مقایسه ضریب سیمان شدگی روابط تجربی شل، بورایی و فوک و مان در مقایسه با ضریب سیمان شدگی آزمایشگاهی به همراه روابط تجربی بهبود یافته

در این مطالعه سازگاری روابط شل، بورایی، هامبل، ستی و فوک-مان برای سنگ های کربناته سازند مورد مطالعه مورد بررسی قرار گرفت. در این میان روابط هامبل و ستی بدلیل عدم بهبود قابل توجه از این مقایسه کنار گذاشته شدند. هر چند رابطه ستی نیز ضریب همبستگی بالایی را شاهد هستیم. همچنین در رابطه هامبل به علت دامنه های وسیع بین ارتباط تخلخل و تراوایی و بین سیمان شدگی و تخلخل، ضریب همبستگی اندک به دست آمده است. در این نتایج، بهترین روند و بیشترین ضریب همبستگی با فرمول فوک - مان مطابقت دارد. البته با بهبود روابط تجربی شل، بورایی و فوک - مان برای نمونه های مورد مطالعه ضریب همبستگی خطی افزایش یافت و بهتر است برای نمونه های کربناته سازند سروک از این روابط تجربی بهبود یافته استفاده کرد.

در صورت عدم وجود داده های آزمایشگاهی در بخش های مختلف سازند سروک، مخصوصاً تخلخل های بالا، از رابطه ارائه شده در این مطالعه که هم روند با رابطه فوک - مان می باشد بهتر است استفاده گردد.

### منابع

- Archie G.E., 1942, The electrical resistivity logs an aid in determining some reservoir characteristics: *Petroleum Technology*, **5**, 32-37.
- Asquith G.B., 1985, Handbook of log evaluation techniques for carbonate reservoirs: methods in exploration: American Association of Petroleum Geologists, Series No. 5.
- Borai A.M., 1985, 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., 22-25.
- Focke J.W. & Munn D., 1987, Cementation exponents (m) in Middle Eastern carbonate reservoirs: SPE-13735, *SPE Formation Evaluation*, **2**, No. 2, 155-167.
- Keller, G.V. and Frischknecht, F.C., 1966, *Electrical Methods in Geophysical Prospecting*: Pergamon Press, Oxford.
- Lucia F.J., 1983, Petrophysical parameters estimated from visual description of carbonate rocks: a field classification of carbonate porespace, *JPT* **35**, 629.
- Mahmood et. al., 1991, Laboratory Measurements of Electrical Resistivity at Reservoir Conditions combined technical: SPE-18179-PA, **6** Issue 3.
- Nugent W.H., Brie A., Johnson D.L. & Nurmi R.D., 1984, Effect of spherical pores on acoustic and resistivity measurements: presented at the 1985 Soc. of Professional Well Log Analysts 26th Annual Logging Symposium, paper W.
- Ragland D.A., 2002, Trends in cementation exponents (m) for carbonate, pore systems: *Petrophysics*, **43**, 434-446.
- Rasmus J.C., 1983, A variable cementation exponent, m, for fractured carbonates: *The Log Analyst* (Nov.-Dec.) 13-23.
- Sethi D.K., 1979, Some considerations about the formation resistivity factor-porosity relations: 20th SPWLA Symposium.
- Winsauer et. Al., 1952, Resistivity of brine saturated sands in relation to pore geometry", *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.* **36**. 253-277.