نقش تخلخلهای غیر مرتبط در تعیین ضریب سیمانشدگی و تاثیر فشار همهجانبه موثر بر آن دریکی از مخازن کربناته ناهمگن ایران

حسام الوکی بختیاری*، عزتاله کاظمزاده، جعفر ولی، محمدرضا اصفهانی پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

*مسئول مكاتبات-آدرس الكترونيكى: bakhtiarih@ripi.ir (دريافت: ٨٨/۴/١٧ ؛ يذيرش: ٨٨/٩/٢٣)

چکیدہ

ضریب سیمانشدگی (m) مهمترین پارامتر در مدل های محاسباتی تعیین اشباع سیالات می باشد و خطای جزئی در ارزیابی آن تاثیر بسزائی در تخمین اشباع آب و ذخیره هیدروکربن در جا دارد. در سنگهای نامتجانس کریناته مقدار m بسته به نوع ناهمگونی می تواند از حدود ۱ در سنگ کربناته شکافدار تا حدود ۵ در سنگ کربناته با تخلخل های حفرهای و قالبی غیر مرتبط متغیر باشد. در بسیاری از موارد با اندازه گیری دقیق تخلخل و مقاومت الکتریکی مغزههای یک میدان هیدروکربوری می توان مدل تجربی برای تعیین m ارائه نمود. در این مطالعه به منظور ارزیابی پارامتر m در یکی از مخازن کربناته ناهمگون در جنوب ایران، ابتدا تخلخل، تراوائی و توزیع اندازه منافذ نمونه های مغزه ۳ حلقه چاه تعیین شد و با استفاده از این اطلاعات و مطالعه زمین شناسی مقاطع نازک میکروسکوپی، طبقهبندی سنگ مخزن انجام شد. سپس برای آزمایشات اندازه گیری مقاومت الکتریکی، نمونه های استوانهای مغزه (پلاگ) به گونهای انتخاب شدند که محدوده تخلخل مشاهده شده در هر گروه سنگی را پوشش دهند. به منظور بررسی اثر فشار بر ضریب سیمان شدگی، آزمایشات مقاومت الکتریکی علاوه بر شرایط فشار محیط در ۴ فشار همه جانبه موثر متفاوت انجام شد. نتایج نشان داد که در این مخزن می توان از ضریب سیمان شدگی، آزمایشات مقاومت الکتریکی دولوستون با تخلخل بیندانه ای و بین کریستالی در شرایط فشار محیط استفاده نمود که این مخزن می توان از ضریب سیمان شدگی، آزمایشات مقاومت الکتریکی دولوستون با تخلخل بیندانه و بین کریستالی در شرایط فشار محیط استفاده نمود که این عدد به ۲۱/۴۸ در فشار هیدروستاتیک همهجانبه موثر ۲۰۰۶ برای بر اینچ مربع افزایش می یابد. با تلفیق اطلاعات مربوط به سایر گروهای سنگ آهک با تخلخل غالب حفرهای و قالبی غیر مرتبط مدلی تجربی برای تعیین ضریب سیمان شدگی ارائه گردید که بیانگر افزایش ضروط به سایر گروهای سنگ آهک با تخلخل غالب حفرهای و قالبی همی مرتوانیش فشار همار مدلی تجربی برای تعیین ضریب بر ضریب سیمان شدگی ارائه گردید که بیانگر افزایش خانش کامت در این گونه از سنگ های آهمی آهایی قرایش همار همه جانبه موثر

واژههای کلیدی: ضریب سیمان شدگی، تخلخلهای حفرهای غیر مرتبط، فاکتور مقاومت سازند، ناهمگون، توزیع اندازه فضای متخلخل.

مقدمه

تخمین دقیق میزان آب (Sw) و ذخیره هیدروکربن درجا یکی از مهمترین چالشها در ارزیابی سازندهای هیدروکربوری میباشد و عدم قطعیتها را در پیشبینیهای اقتصادی و توسعه میادین نفت و گاز کاهش میدهد. دسترسی به مقادیر صحیح Sw وابسته به ارزیابی دقیق ضرایب آرچی m ، a و n میباشد. در این میان m مهمترین عاملی است که اشباعشدگی نسبت به آن حساسیت نشان میدهد و به همین دلیل همواره اندازهگیری و تخمین صحیح آن یکی از مسائل اصلی در ارزیابیهای پتروفیزیکی میباشد (Mossieni-nia & Rezaee 2002).

ضریب سیمان شدگی اولین بار توسط Archie در سال 1942 تعریف شد. او نشان داد که مقدار m در ماسهسنگ با سیمان ضعیف ۱/۳ و درماسه سنگ با سیمانشدگی خوب ۱/۸ تا ۲ میباشد. Timur و همکاران (1972) برای تعداد ۱۸۰۰ نمونه ماسهسنگ از ۱۵ میدان

نفتی مقادیر m=1/4 و m=1/1 و m=1/4 می تورند. مطالعات محققین نشان داد که با استفاده از رابطه Archie می توان مقادیر m را به صورت مدلهای تجربی از پارامترهای معلوم دیگر (اغلب تخلخل) و از inacella signamus 1983; Sethi 1979). محاسبه نمود (Setti 1973; Neustaedter 1968; Neustaedter 1968). این روابط برای استفاده در رخسارههای گوناگون کربناته معمولا با شکست مواجه می شوند. برای مثال در تخلخلهای مشابه، مقدار m در سنگهای کربناته با تخلخل مثال در تخلخلهای مشان داد که مقدار m در سنگهای کربناته با تخلخل مثال در تخلخلهای مشابه، مقدار m در سنگ می کربناته با تخلخل مثال در تخلخلهای مشابه، مقدار آن در سنگ کربناته با تخلخل کریستالین است. این نسبت تخلخلهای غیر مرتبط به تخلخل کل افزایش می یابد. این نسبت تخلخلهای از نگارهای نوترون، دانسیته و صوتی محاسبه تخلی کرد و یا از نتایج اندازه گیریهای آنالیز مغزه و مطالعات مقاطع نازک تخمین زد. Posti

مجله علوم دانشگاه تهران، جلد سیو پنجم (۱۳۸۸) شماره ۳

بافت فضای متخلخل به شش گروه تقسیم بندی کرده و با اندازه گیری تخلخل و فاکتور مقاومت سازند وبا استفاده از رابطه Archie، روند تغییرات m را نسبت به تخلخل بدست آوردند. آنها نشان دادند که مقدار m در سنگهای کربناته با تخلخل حفرهای غیر مرتبط تا ۵/۵ افزایش مییابد و تاثیر افزایش فشار موثر طبقات فوقانی بر مقادیر m در اینگونه از سنگ کربناته بیش از سنگهای کربناته با تخخلهای در اینگونه از سنگ کربناته بیش از سنگهای کربناته با تخطهای در اینگونه از سنگ کربناته بیش از سنگهای کربناته با تخخلهای در اینگونه از سنگ کربناته بیش از سنگهای کربناته با تخخلهای در اینگونه از سنگ کربناته بیش از سنگهای کربناته با تخطهای در اینگونه از سنگ راد موادی بر مورد ارزیابی قرار دادند. همچنین رضائی و همکاران (۲۰۰۷) از واحدهای جریان الکتریکی برای تعیین m استفاده نمودند.

روش متداول برای تعیین ضریب سیمان شدگی استفاده از رابطه a بريب – (Φ) حريب FRF = Ro/Rw = $/\Phi^m$ مقاومت سازند (FRF) است که در آن شیب منفی بهترین خط برازش شده به نقاط داده ضریب سیمان شدگی، m و تقاطع آن با خط تخلخل ۱۰۰ درصد ثابت پیچاپیچی، a می باشند. ضریب همبستگی خط برازش شده در سنگهای کربناته با تخلخل بین دانهای و بین کریستالی عموما زیاد بوده و بیانگر مقادیر ثابت m برای این گونه از سنگ است. نتایج بررسیهای انجام شده در آزمایشات مغزه نشان میدهد که با فرض a= ۱ مقدار m در سنگهای کربناته با تخخل غالب بینکریستالی برابر ۲ میباشد. در سنگهای کربناته ناهمگن که شکل منافذ و گلوگاهها در آنها بواسطه فرایندهای دیاژنزی پیچیدگی بیشتری دارند، رابطه مقاومت الکتریکی با تخلخل نامتجانس بوده و پراکندگی در نقاط داده در نمودار لگاریتمی تخلخل – فاکتور مقاومت الکتریکی سازند ظاهر میشود. این مسئله ضریب همبستگی بهترین خط برازش شده را کاهش میدهد و مقادیر m و a بدست آمده را غیر قابل اعتماد میسازد. در چنین شرایطی بکارگیری مقادیر ثابت m برای سنگ کربناته تخمین اشباع سیالات در ارزیابیها را با مشکل جدی مواجه میسازد. وجود تخلخلهای قالبی و حفرهای غیر مرتبط در سنگ سبب می شود که مقاومت الکتریکی سنگ افزایش یافته و در نتیجه مقدار m در اینگونه از سنگها در مقایسه با سنگی که مقدار تخلخل مشابه و از نوع بین کریستالی داشته باشد، افزایش مییابد، در صورتیکه افزایش شکستگی و تخلخلهای قالبی و حفرهای مرتبط با تسهیل در مسیر عبور جريان الكتريكي در سنگ، باعث كاهش مقاومت الكتريكي و ضریب سیمانشدگی میشوند.

در این مطالعه نشان داده می شود که چگونه نوع تخلخل های غالب در سنگ کربناته بر ارزیابی ضریب سیمان شدگی یک مخزن هیدروکربنی تاثیر گذار می باشد. برای این منظور نمونه های مغزه مربوط به ۳ حلقه چاه یکی از مخازن گازی جنوب ایران بر مبنای تقسیم بندی Lucia (1999) گروه بندی شدند که در این طبقه بندی از

نتایج آزمایشات مغزه شامل تخلخل، تراوائی و توزیع اندازه منافذ و همچنین مطالعه میکروسکوپی مقاطع نازک زمینشناسی استفاده شده است. سپس به منظور انجام آزمایشات هدایت الکتریکی و تعیین فاکتور مقاومت سازند در هر گروه سنگی، تعدادی نمونه به گونهای انتخاب شدند تا محدوده تخلخل در آن گروه سنگی را شامل شوند. برای ارزیابی ضریب سیمانشدگی در سنگهای دولومیتی با تخلخل غالب بین کریستالی از روش متداول نمودار لگاریتمی Φ - FRF استفاده شده است و در سنگهای آهکی با تخلخل غالب قالبی و مقدار m برای هر نمونه محاسبه شد و سپس با توجه به ارتباط مستقیم بین افزایش مقادیر m با افزایش تخلخل مغزه، از نمودار Φ m برای ارائه مدل تجربی استفاده شده است.

روش انجام کار

الف) انتخاب نمونه و تعیین خواص پتروفیزیکی

در این مطالعه ۱۷۲ نمونه استوانهای (پلاگ) با قطر ۱/۵ اینچ از ۱۱۰متر مغزه مربوط به ۳ حلقه چاه یکی از میادین کربناته ناهمگن گازی جنوب ایران تهیه شد. پس از طی مراحل آمادهسازی نمونهها که شامل پلاگ گیری، شستشو توسط حلال آلی (تولوئن) و خشک نمودن آنها میباشد خواص معمولی مغزه شامل تخلخل هلیم، دانسیته دانهای و تراوائی نسبت به هوا اندازه گیری شد. برای تعیین تخلخل و دانسیته دانهای از دستگاه Ultraprosimeter و برای تراوائی از دستگاه تراوائی را برای نمونههای پلاگ به تفکیک دولومیت و سنگ آهک تراوائی را برای نمونههای پلاگ به تفکیک دولومیت و سنگ آهک نشان میدهد. همان گونه که در سازندهای کربناته ناهمگن قابل پیش بینی است ارتباط مناسبی بین تخلخل و تراوائی وجود نداشته و همین مسئله ضرورت تقسیم بندی سنگ مخزن کربناته را بر مبنای نوع رخساره و توزیع نوع و اندازه منافذ ایچاب میکند.



شکل ۱: نمودار تخلخل و تراوائی برای نمونههای کربناته که به دلیل وجود بافت ناهمگن سنگ رابطه مشخصی وجود ندارد.

ب) تعیین سنگشناسی نمونههای منتخب

همانگونه که در هنگام پلاگگیری متداول است از انتهای نمونههای پلاگ، برشی از سنگ جهت تهیه مقاطع نازک میکروسکپی گرفته شد. به منظور وضوح بهتر منافذ خالی رزین اپوکسی آبی به نمونهها تزریق شد و جهت تشخیص رخساره دولومیت از آهک تمامی مقاطع نازک با ماده آلیزارین قرمز رنگ آمیزی شدند. نمونهها برمبنای طبقهبندی دانهام از نظر نوع بافت و برمبنای طبقهبندی لوسیا از نظر سیستم منافذ گروهبندی شدند. بر این اساس ۱۳۸ نمونه سنگ آهک و ۳۴ نمونه از جنس دولوستون میباشند. بیش از ۶۰ درصد از نمونههای آهکی عمدتا گرینستون میباشند که جنس دانه در آنها عمدتا اجزای فسیلی و اواوئید می باشند و مابقی سنگ اهک کریستالین با بافت متراکم و مادستون آرژیلیتی میباشند. نوع تخلخل غالب در گرینستونها از نوع قالبی (شکل ۲)، قالب فسیلی (شکل ۳) و حفرهای غير مرتبط، با ارتباط ضعيف (شكل ۴) و ندرتا ارتباط خوب (شكل ۵) مشاهده شدهاند.



شكل ٢: گرينستون با تخلخل قالبي.



شكل ٣: گرينستون با تخلخل قالب فسيلي.



شکل ۴: گرینستون با تخلخل قالبی و حفرهای با ارتباط ضعیف



شکل ۵: گرینستون با تخلخل قالبی و حفرهای با ارتباط خوب.

شکل ۶ نمودار تخلخل – تراوائی را برای نمونههای آهکی نمایش مىدهد. حضور تخخلهاى قالبى عمدتا غير مرتبط سبب جابجائى دادهها به سمت راست منطقه گرینستونها با تخلخل غالب بین دانهای شده است و هرچه بر میزان تخلخلهای غیر مرتبط افزوده شود این جابجائی بیشتر خواهد بود. در این نمودار سنگ آهک در سه گروه سنگی شامل ۱- سنگ آهک کریستالین و مادستون با تخلخل کمتر از ۱۰ درصد و تراوائی کمتر از ۱ میلی دارسی ، ۲– گرینستون با تخلخلهای قالبی و حفرهای مجزا با تخلخل بالای ۱۰ درصد و تراوائی کمتر از ۱ میلی دارسی و ۳- گرینستون با تخلخلهای قالبی و حفرهای با ارتباط ضعیف تا ندرتا خوب و با تخلخل بیش از ۱۰ درصد و تراوائی بیش از ۱ میلی دارسی نمایش داده شدهاند.

نمونههای دولوستون عمدتا از جنس دولووکستون (شکل ۷) تا دولوپکستون (شکل ۸) با زمینه غالب گلی با اندازه دانه ریز کوچکتر از ۲۰ میکرون میباشند و ندرتا دولوگرینستون(شکل ۹) تا دولوپکستون با زمینه غالب دانهای با اندازه دانه ریز تا متوسط با ابعاد ۲۰–۱۰۰ میکرون میباشند. سیستم تخلخل در دولوستونها ازنوع بین دانهای و بین کریستالی است (شکل ۱۰). شکل ۱۱ وضعیت نمونههای دولومیتی

44

را در نمودار تخلخل – تراوائی نمایش میدهد که در آن دولوستونها به دو گروه فوق تقسیم بندی شدهاند.



شکل ۶ : نمودار تخلخل – تراوائی برای نمونههای سنگ آهک و گروهبندی آن به سه گروه سنگی با بافت متفاوت بر مبنای طبقهبندی لوسیا.



شکل ۷ : دولووکستون با زمینه غالب گلی.



شکل ۸ : دولوپکستون با زمینه غالب گلی.



شکل ۹: دولوگرینستون با زمینه غالب دانهای.



شکل ۱۰ : دولوستون با تخلخل بین دانهای.





شکل ۱۱ : نمودار تخلخل – تراوائی برای نمونههای دولوستون و گروهبندی آن به دو گروه سنگی با بافت متفاوت بر مبنای طبقهبندی لوسیا.

ج) توزیع اندازه منافذ و منحنیهای فشار موئینگی
به منظور بررسی سیستم تخلخل از نظر توزیع اندازه گلوگاهها و منافذ مرتبط به آنها، از روش تزریق جیوه به تکههایی از نمونههای گروههای سنگی مختلف استفاده شد. شکل ۱۲ منحنی توزیع اندازه منافذ و شکل ۱۳ منحنی ۵ نمونه گرینستون با

تخلخلهای قالبی و حفرهای نشان میدهد.



شکل ۱۲: نمودار توزیع اندازه منافذ در سنگهای آهکی با تخلخلهای قالبی وحفرهای با استفاده از روش تزریق جیوه.



شکل ۱۳: نمودار فشار موئینگی جیوه در سنگهای آهکی با تخلخلهای قالبی وحفرهای.

همانگونه که در این شکلها مشاهده می شود حجم فضاهای خالی مرتبط به گلوگاههائی که اندازه کمتر از ۰/۵ میکرون دارند در گرینستونها با تخلخل قالبی غیر مرتبط بیشتر از گرینستون با تخلخل قالبی و حفرهای مرتبط می باشد. شکل منحنیهای فشار موئینگی و توزیع اندازه فضای خالی در گرینستونها با تخلخل غیر مرتبط نشان دهنده سیستمهای تخلخل غیر یکنواخت و دوگانه در سنگ است که علیرغم تخلخل بالا تراوائی کم را موجب می شوند. در گرینستونها با تخلخلهای مرتبط شکل منحنیها، سیستم تخلخل نسبتا همگن تر را نشان داده و به سمت سیستم تخلخل بین دانهای متمایل می شوند.

شکلهای ۱۴ و ۱۵ به ترتیب منحنی های توزیع منافذ و فشار موئینگی جیوه را برای ۴ نمونه از دولوستون نشان میدهند. همانگونه که مشاهده میشود توزیع سیستم تخلخل در نمونه دولوگرینستون کاملا یکنواخت میباشد و تا ۸۰ درصد از فضای خالی سنگ شامل منافذ بزرگتر از ۱/۵ میکرون میباشند. از آنجائیکه دانه و اندازه آن

توزیع اندازه منافذ را در سنگ کنترل میکنند لذا این گونه از دولوستونها با تخلخل بین دانهای تراوائی خوبی را نشان میدهند. در نمونههای دولوستون ریز بلور، دلووکستون و دولوپکستون با زمینه غالب گلی توزیع اندازه منافذ به شکل نسبتا یکنواخت تا یکنواخت بوده و شامل منافذ با اندازه کمتر از ۱/۵ میکرون میباشند. تراوائی در این گونه از نمونهها از حدود ۱ میلی دارسی بیشتر نمیباشد.

د) مقاومت الکتریکی و ضریب مقاومت الکتریکی سازند

به منظور تعیین مقاومت ویژه الکتریکی برای تعداد ۲۳ نمونه پلاگ سنگ آهک و ۹ نمونه پلاگ دولوستون، ابتدا هر نمونه با آب نمک با شوری ۲۰۰ هزار ppm کاملا اشباع گردید و در داخل سیستم مغزه نگهدار هیدروستاتیک دستگاهOverburden Rig قرار گرفت. در این گونه از سیستمهای مغزه نگهدار، فشار اعمال شده بر نمونه در تمام جهات با یکدیگر مساوی است. سپس بعد از اعمال فشار همه جانبه کم به نمونه (بسته به مقدار تراوائی)، توسط پمپ تزریق چند برابر حجم فضای متخلخل نمونه به آن آب نمک تزریق شد تا شرایط تعادل ایجاد گردید و در این مرحله مقدار مقاومت نمونه بر حسب اهم توسط



شکل ۱۴: نمودار توزیع اندازه منافذ در دولوستون با استفاده از روش تزریق جیوه.



سیستم مقاومتسنج دستگاه HIOKI3522-LCR HI TESTER مناب دستگاه اندازه گیری و ثبت گردید. با پایان یافتن آزمایش در شرایط فشار محیط و به منظور بررسی تاثیر افزایش فشار همهجانبه بر مقاومت الکتریکی سنگ مخزن، فشارهای همه جانبه به میزان ۱۰۰۰ ، ۲۰۰۰، اکتریکی سنگ مخزن، فشارهای همه جانبه به میزان ۲۰۰۰ ، ۲۰۰۰ تعیین و مقاومت الکتریکی اندازه گیری شد.

با توجه به وابستگی هدایت الکتریکی به تغییرات دما، تصحیح دمایی برای مقاومت الکتریکی طبق رابطه زیر صورت گرفته است (Arps 1953, Worthington et al. 1990).

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

با استفاده از روابط زیر مقاومت ویژه الکتریکی نمونه و مقاومت ویژه آب سازندی تعیین شدهاند(Schlumberger 1972) .

$$R_{o} = R \frac{A}{L}$$

$$R_{w} = \left[(400000 / T_{f}) P_{w} \right]^{0.83}$$

در روابط فوق A سطح مقطع و L طول نمونه، *P*^W شوری آب سازند بر حسب ppm و *T_F* دمای سازند بر حسب درجه فارنهایت میباشند. اندازه گیریها با دقت ۰/۲ درصد بوده و در فرکانس یک کیلوهرتز انجام شده است.

در نهایت فاکتور مقاومت ویژه سازندی و مقدار ضریب سیمان شدگی با استفاده از فرمول زیر در حالت ۱ = (رابطه آرچی) برای تمامی نمونهها محاسبه گردید که در جداول ۱ و ۲ به ترتیب برای سنگ آهک و دولوستون نشان داده شده است.

$$F = \frac{R_0}{R_w} = \frac{a}{\phi^m}$$

ه) ضریب سیمان شدگی

شکل ۱۶ و ۱۷ نمودار Φ FRF- را به ترتیب برای نمونههای آهکی و دولوستون در شرایط فشار محیط نمایش می دهند. همانگونه که مشاهده می گردد مقادیر m و a که از بهترین خط برازش شده به نقاط داده بدست آمده است در دولوستونها قابل اعتماد بوده و به ترتیب برابر ۱/۵۴۲ و ۳/۷۱۱ با ضریب همبستگی ۰/۹۱ می باشند. برای حالت ۱ = a مقدار m برابر ۲/۰۸۶ می باشد. اما پراکندگی نقاط داده در سنگهای آهکی با تخلخل غالب قالبی و حفرهای غیر مرتبط، مقدار m مستخرج از این نمودار را برای استفاده در ارزیابیهای پتروفیزیکی غیر قابل اعتماد می سازد. مقادیر m و a برای سنگ آهک به ترتیب ۶/۸۹ رو ۲/۵۶ با ضریب همبستگی ۱۹/۱ و برای حالت ۱ = a مقدار m برابر و ۲/۵۲ می باشد. همانگونه که درجدول شماره ۱ مشاهده می گردد و در

شکل ۱۸ نمایش داده شده است ارتباط مستقیم بین تخلخل و ضریب سیمان شدگی وجود دارد به گونهایکه با افزایش Φ بر میزان m افزوده میشود که این افزایش از حدود ۱/۷۵ تا ۳/۵ میباشد. بنابر این برای تعیین اشباع آب میتوان از یک رابطه تجربی که m را به صورت تابعی از تخلخل نشان میدهد استفاده نمود. در سنگ آهک این مخزن کربناته با رخساره گرینستون و با تخلخل غالب قالبی و حفرهای غیر مرتبط و مرتبط ضعیف تا ندرتا خوب این رابطه به صورت زیر میباشد.

 $m={\it F}/{\it YT}\Phi+{\it I}/{\it FF}~(R^{\it T}={\scriptstyle \bullet}/{\it A}{\it A})$

شکلهای ۱۹ و۲۰ و به ترتیب برای سنگ آهک و دولوستون نشان می دهند که ضریب سیمان شدگی با افزایش فشار همه جانبه موثر افزایش یافته است که میزان افزایش در سنگ آهک با تخلخل قالبی و حفرهای بیش از دولوستون با تخلخل بین دانه ای و بین کریستالی است. با استفاده از این دو منحنی می توان با تعیین فشار موثر طبقات فوقانی در هر زمان از عمر مخزن مقدار m را برآورد کرد.



شکل ۱۶: نمودار تخلخل – ضریب مقاومت الکتریکی سازند FRF-Φ برای نمونههای آهکی.



شکل ۱۷: نمودار FRF-Φ تخلخل – ضریب مقاومت الکتریکی سازند برای نمونههای دولوستون.





نتيجهگيري

در ارزیابی m برای مخازن کربناته هتروژن و با تخلخل دوگانه تعیین رخسارههای سنگی است. -در دولوستون با تخلخل بینکریستالین و بیندانهای مقدار m در 🛛 -با افزایش فشار موثر طبقات فوقانی بر مقدارm افزوده میشود که شرایط محیط برابر ۲/۰۸۶ می باشد و با افزایش فشار همهجانبه موثر تا میزان افزایش برای سنگ کربناته با تخلخل دوگانه غیر مرتبط نسبت ۴۰۰۰ یوند بر اینچ مربع مقدار آن به ۲/۱۴۸ افزایش می یابد.

-در سنگ آهک گرینستون با تخلخل غالب قالبی و حفرهای مقدار m با توجه به وابستگی ضریب سیمانشدگی به نوع تخلخل، اولین مرحله 🚽 تابعی از تخلخل بوده و با افزایش تخلخل افزایش مییابد. در این حالت باید از رابطه تجربی که m را به صورت تابعی از تخلخل نشان میدهد استفاده نمود. به دولوستون با تخلخل بیندانهای و همگن بیشتر است.

منابع:

- Archie G.E. 1942: The electrical resistivity log as an aid in determination some reservoir characteristics. Trans. Am. Inst. Min. Metal. Pet. Eng. Inc. 146: 54-62.
- Arps J.J. 1953: The effect of temperature on the density and electrical resistivity of sodium chloride solutions. Trans., A.I.M.E. 198: 327-330.
- Borai A.M. 1987: A new correlation for the cementation factor in low-porosity carbonates. SPE Form. Eval. 2: 495-499.
- Focke J.W., Munn D. 1987: Cementation exponents in middle eastern carbonate reservoirs. SPE Form. Eval. 2: 155-167.
- Hosseini-nia T., Rezaee M.R. 2002: Error sensitivity of petrophysical parameters on water saturation calculation for hydrocarbon reservoirs. J. Sci. Univ. Tehran. 28: 69-91.

Kazemzadeh E., Nabi Bidhendi M., Keramati M., Rezaee M. R., Saadat K. 2007: Determination Archie coefficients in different petrofacieses of carbonate rocks using seismic velocity deviation logs, *Journal of Earth and Space Physics.* 33: 51-66.

Lucia F.J. 1983: Petrophysical parameters estimated from visual descriptions of carbonate rocks: A field classification of carbonate pore space. *Journal of Petroleum Technology*. **35**: 629-637.

Lucia F.J. 1999: Carbonate reservoir characterization. ISBN 3-540-63782-6 Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York.

Neustaedter R.H. 1968: Log evaluation of deep Ellenburger gas zones. SPE paper 2071, presented at the Deep Drilling and Development Symposium-Delaware Basin of the SPE of AIME, Monahans, Texas.

Rasmus J.C. 1983: A variable cementation exponent, m, for fractured carbonates. Log Anal. 24: 13-23.

Rezaee M. R., Motiei H., Kazemzadeh E. 2007: A new method to acquire m exponent and tortuosity factor for microscopically heterogeneous carbonates, *Journal of Petroleum Science and Engineering*. 56: 241-251.

Schlumberger Well Surveying Corporation, 1972: Principle of log interpretation, Houston. Tex. 112 p.

- Sethi D.K. 1979: Some considerations about the formation resistivity factor-porosity relations. 20th SPWLA Symposium, paper L.
- Timur A., Hempkins W.B., Worthington A.E. 1972: Porosity and pressure dependence of formation resistivity factor for sandstones. Presented at Form. Eval. Symp. Can. Well Log. Soc., 4th, Calgary, (Paper, D).
- Worthington A.E., Hedges J.H., Pallatt N. 1990: SCA guidelines for samples preparation and porosity measurement of electrical resistivity samples. *The Log Analyst.* **31**: 20-28.