بررسی اثر سنگ‌شناسی در تعیین ضرایب آرچی در پهنه‌های سنگی مختلف افق آسماری یک مخزن کربناتی در جنوب باختر ایران

سمیه طبسی [۱*]، ابوالقاسم کامکار روحانی [۲]، مجتبی محمدو خراسانی [۳]

[۱] دانشجوی دکترا، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
[۲] دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، نفت و ژئوفیزیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
[۳] کارشناسی ارشد، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۷/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۲۶

چکیده

رابطه آرچی که بنیادی‌ترین رابطه محاسبه اشباع‌شدگی در مخازن هیدروکربوری است؛ دارای سه متغیر سیمان‌شدگی (m)،توان اشباع (n) و پیچاپیچی (a) است. ضریب سیمان‌شدگی، تابعی از شکل هندسی منافذ است. بنابراین برای تعیین ضرایب آرچی، بررسی نوع منافذ ضروری است. به منظور دست‌یابی به نتایج دقیق‌تر در زمینه تعیین ضرایب آرچی و در نتیجه میزان اشباع سیال‌ها باید سنگ‌ها را از دید بافت و نوع تخلخل دسته‌بندی کرد و برای هردسته، این مقادیر را مشخص ساخت. در این پژوهش برای دسته‌بندی داده‌های مقاومت‌ویژه لاگ چاه‌پیمایی برای محاسبه متغیرهای رابطه آرچی در یک چاه اکتشافی در یکی از مخازن هیدروکربوری جنوب باختر ایران از روش فرکتالی استفاده شده است؛ که داده‌ها را از دید بافت و نوع تخلخل سنگ‌ها به سه پهنه تقسیم کرده است. سپس برای تعیین متغیرهای رابطه آرچی در هر کدام از پهنه‌ها، به‌صورت جداگانه از روش الگوریتم ژنتیک استفاده شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهند که این روش می‌تواند پیچیدگی رفتار هر یک از ضرایب را در محاسبات در نظر بگیرد.

کلیدواژه‌ها: هیدروکربور، فرکتال، لاگ مقاومت‌ویژه، الگوریتم ژنتیک.

***نویسنده مسئول:** سمیه طبسی
E-mail: somayehtabasi@yahoo.com

۱- پیش‌نوشتار

به دلیل نیاز روز افزون به ذخایر نفت و گاز، لزوم پی‌جویی و اکتشاف منابع هیدروکربوری و گسترش روش‌هایی که با اطمینان بالاتری به شناسایی و اکتشاف این مخازن می‌پردازد، احساس می‌شود. ارزیابی اختصاصات مخزنی شامل مطالعه متغیرهای پتروفیزیکی همچون تخلخل، نفوذپذیری، اشباع سیال‌های و تغییرات سنگ‌شناختی است. در مطالعه مخازن هیدروکربوری تعیین خواص پتروفیزیکی مخزن یکی از مهم‌ترین متغیرهای کلیدی در مدیریت، تولید، گسترش و برآورد مخازن هیدروکربوری به شمار می‌آید.

برنامه‌ریزی دقیق گسترش و تولید مخازن کربناتی بستگی به میزان توصیف جامع خواص مخزنی دارد. تحلیل خواص ذاتی سیال‌های درون مخزن و ویژگی‌های جریانی آنها و ویژگی‌های زمین‌شناسی محیط متخلخل با استفاده از ترکیب داده‌های مختلف چاه‌نگاری، مغزه، ژئوفیزیکی و دیگر اطلاعات زمین‌شناسی، مدل‌های کاربردی شبیه‌سازی شده مخازن هیدروکربوری را ایجاد می‌کند. بنابراین بررسی ساختاری مخازن هیدروکربوری اطلاعاتی درباره حضور و یا عدم حضور هیدروکربور و تعیین نوع آن، تعیین محل تجمع هیدروکربور، حجم هیدروکربور موجود در سازند و حجم هیدروکربور قابل دست‌یابی ارائه می‌دهد (Ellis & Singer, 2007).

امروزه روش‌های ژئوفیزیکی، پیشرفت‌های زیادی کرده و به شدت مورد توجه شرکت‌های نفتی قرار گرفته است؛ تا به این وسیله بتوانند ریسک عملیات حفاری را کاهش دهند. ژئوفیزیک مخزن مفهومی کاملاً جدید است که در مطالعات مخزن می‌تواند مدل‌های مختلف مخزنی را با استفاده از مدل‌سازی ژئوفیزیکی و مدل‌سازی فیزیک سنگ (Rock physics model) تمایز دهد. هدف پایانی متخصصان ژئوفیزیک مخزن، تعیین ویژگی‌های مخزنی مانند سنگ‌شناسی، تخلخل و اشباع‌شدگی و شرایط آن همچون فشار و چگونگی توزیع سیال با استفاده از داده‌های ژئوفیزیکی است. متخصصان فیزیک سنگ با تعیین مدل‌های فیزیک سنگ برای انواع مخازن هیدروکربوری به پیش‌بینی ویژگی‌های مخزن و وضعیت آن می‌پردازند و شرایط سازندها را در حفاری پیش‌بینی می‌کنند.

متغیر اشباع‌شدگی از جمله متغیرهای پتروفیزیکی مهم در بررسی مخازن هیدروکربوری است که اهمیت زیادی در محاسبات مخازن دارد. بنیادی‌ترین رابطه محاسبه اشباع از آب در مخازن هیدروکربوری با استفاده از مقاومت ویژه الکتریکی سازند، تخلخل و مقاومت ویژه الکتریکی آب سازند رابطه آرچی است که توسط Archie (1942) معرفی شد. این رابطه دارای ۳ متغیر سیمان‌شدگی (m)، توان اشباع (n) و پیچاپیچی (a) است؛ که ضرایب آرچی نامیده می‌شوند. این ضرایب معمولاً در آزمایشگاه تعیین می‌شوند. آرچی این ضرایب را در سنگ‌های ماسه‌سنگی به دست آورده و اعداد ثابتی برای این سنگ‌شناسی ارائه داده است؛ ولی سنگ‌های کربناتی بر خلاف ماسه‌سنگ‌ها تنوع زیادی با توجه به نوع بافت و شکل منافذ در سنگ‌شناسی دارند و چون ضرایب آرچی نیز تحت تأثیرعوامل سنگ‌شناختی به ویژه نوع منافذ هستند، ضرایب آرچی باید برای انواع گونه‌های سنگی در کربنات‌ها به دست آیند. عدم قطعیت در تعیین این ضرایب سبب خطای زیادی در تعیین اشباع سیال‌ها، به‌ویژه میزان نفت در جا می‌شود.

مطمئن‌ترین روش برای اندازه‌گیری متغیرهای آرچی، اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی است. روش‌ها و روابط زیادی برای برآورد این متغیرها وجود دارند؛ ولی این روش‌ها و روابط، شرایط فشار و دمای همه جانبه مخزن را در نظر نمی‌گیرند و یا این روابط مربوط به مخزن خاصی هستند که پاسخ حاصل در شرایط دیگر مخازن با ابهامات زیادی همراه است (Nugent et al., 1978; Rasmus, 1983; Lucia, 2007).

در مسائل مهندسی، بهینه‌سازی عبارت است از اکسترمم‌سازی یک تابع هدف به وسیله یک الگوریتم خاص که تحت شرط‌های محدود کننده جواب‌های مسئله مورد بررسی، انجام می‌گیرد. در اکتشافات هیدروکربوری می‌توان پیچیدگی‌های زمین‌شناسی، تأثیر متغیرهای مختلف پتروفیزیکی و عدم قطعیت آنها و محدودیت‌های اقتصادی و زمانی را به عنوان شرط‌های یک مسئله تعریف کرد و با استفاده از روش‌های بهینه‌سازی به حل مسئله پرداخت.

الگوریتم ژنتیک (Genetic algorithm) یکی از روش‌های حل سریع مسئله است؛ که بر پایه تکامل و انتخاب بهترین پاسخ به حل مسائل می‌پردازد (Holland, 1975). از آنجا که تغییرات متغیرهای آرچی در مخازن کربناتی یک

مسئله پیچیده و مبهم است؛ روش الگوریتم ژنتیک به خوبی می‌تواند در تعیین ضرایب آرچی مورد ارزیابی قرار گیرد.

روش‌های تجزیه و تحلیل داده‌ها و تغییرپذیری موجود در داده‌ها از جمله روش‌های مبتنی بر اختصاصات و تحلیل داده‌ها به شمار می‌آیند. در این روش‌ها این امکان فراهم می‌شود تا ضمن تحلیل داده‌ها، تغییرپذیری و روندهای تغییرات موجود در میان داده‌ها مشخص شوند. هندسه فرکتال بر خلاف هندسه اقلیدسی، افزون بر بحث در زمینه ابعاد صحیح (یک، دو و سه)، به بررسی ابعاد غیر صحیح و توصیف پدیده‌های طبیعی نیز می‌پردازد (Cheng et al., 1996). مجموعه فرکتالی از دید ریاضی، مجموعه‌ای است که اجزای آن دارای ویژگی خودتشابهی یا خودتمایلی هستند. بر پایه رابطه ۱، خودتشابهی به‌صورت اختلاف شکل‌های فرکتالی هم‌شکل در بزرگی و کوچکی آنها با نسبت r بیان می‌شود.

$$x = (x_1, x_2, x_\delta, ..., x_E) \rightarrow rx = (rx_1, rx_2, rx_\delta, ...rx_E) \quad (۱$$

رابطه نمایی ۲، برای تمام شکل‌ها خودتشابه برقرار است که در آن N_i تعداد اجزای با اندازه r_i ، D بعد فرکتال و γ ضریب ثابت هستند (Turcotte, 2002).

$$N_i = \gamma r_i^{-D} \quad (۲$$

در لاگ‌های پتروفیزیک، داده‌ها معمولاً در فواصل تقریبی یک فوتی برداشت شده و این فواصل با تغییرات رخساره‌های شناخته شده همخوانی دارد. بنابراین با استفاده از روش‌های فرکتالی می‌توان به تجزیه و تحلیل داده‌ها و بررسی تغییرات رفتار داده‌ها پرداخت. این روش می‌تواند تغییرات داده‌های مقاومت ویژه را تعیین کند. در نتیجه می‌توان تعیین کرد که هر کدام از روندهای تغییرات داده‌ها مربوط به کدام پدیده زمین‌شناسی است و منشأ ایجاد این تغییرات را مشخص کرد.

در این پژوهش پس از بررسی مطالعات زمین‌شناسی یک مخزن هیدروکربوری در جنوب باختر ایران، داده‌های لاگ مقاومت ویژه از یک چاه اکتشافی با استفاده از روش فرکتالی متغیر- فراوانی دسته‌بندی شده‌اند. دسته‌بندی داده‌ها نشان می‌دهد که ستون هیدروکربوری در چاه مورد نظر سه پهنه زمین‌شناسی را که از دید سنگ‌شناسی، نوع بافت و تخلخل با هم تفاوت دارند، قطع کرده است. سپس در هر کدام از این پهنه‌ها با استفاده از روش هوشمند الگوریتم ژنتیک ضرایب رابطه آرچی برآورد شده‌اند.

۲- زمین‌شناسی مخزن مورد مطالعه

رسوبات کربناتی تحت تأثیر تغییرات دیاژنزی مانند سیمان‌شدگی و انحلال قرار دارند که سبب تغییر در خلل و فرج آنها می‌شود. به دلیل توزیع پراکنده و نامنظم حفرات و تغییرات اندازه و شکل آنها و همچنین احتمال حضور رس، تعیین ویژگی‌های پتروفیزیکی مخزن قابل بحث است (Ellis & Singer, 2007). توزیع اندازه فضاهای خالی رابط میان ویژگی‌های مخزنی است. تغییرات در تخلخل میان‌ذره‌ای در هر محدوده فابریکی از سنگ‌های کربناتی، نشان‌دهنده تغییرات در اندازه حفرات است. اندازه فضاهای میان‌دانه‌ای تابعی از اندازه دانه، جورشدگی و تخلخل درون دانه‌ای است. با کاهش اندازه دانه و جورشدگی، اندازه فضاهای خالی کاهش می‌یابد. با رسوب سیمان در فضاهای خالی و ایجاد آرایش نزدیک‌تر دانه‌ها در نتیجه تراکم، اندازه فضاهای میان‌دانه‌ای به‌طور منظم کاهش می‌یابد (Lucia, 2007). توزیع اندازه فضاهای خالی در ارتباط با فابریک سنگ است. بنابراین تخلخل نیز یکی از عناصر فابریک سنگ به شمار می‌آید. ارتباط ویژگی‌های پتروفیزیکی با ویژگی‌های زمین‌شناسی از راه چگونگی توزیع اندازه فضاهای خالی بیان می‌شود. در سنگ‌های کربناتی، ویژگی‌های پتروفیزیکی تنها تابع تخلخل نیست بلکه در این مورد، نوع خلل و فرج اهمیت بسزایی دارد (Lucia, 2007).

ساختمان میدان روی افق آسماری، تاقدیسی کشیده و نامتقارن با محور شمال باختر- جنوب خاور است. مخزن هیدروکربوری مورد مطالعه در سازند آسماری به عنوان کم‌ژرفاترین افق تولید نفت در جنوب باختری ایران جای گرفته و با سازند گچساران پوشیده شده است. سازند گچساران از سنگ‌های تبخیری فشرده تشکیل شده است (مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۹۱).

بنابر مطالعات انجام گرفته، در مخزن مورد مطالعه، ماسه‌سنگ حضوری بسیار ضعیف و قابل چشم‌پوشی دارد و شیل که معمولاً به‌صورت لایه‌های نازک در بخش بالایی و بخش پایانی مخزن وجود دارد، در بیشتر موارد گسترش چندانی ندارد و بدون تداوم لایه‌ها در مخزن است. تخلخل در سنگ‌های کربناتی بخش زیرین نسبت به بخش بالایی درصد کمتری دارد. به عبارت دیگر سنگ‌های کربناتی بخش زیرین متراکم‌تر هستند (مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۹۱).

بستگی ساختمانی مخزن مورد بررسی با توجه به آخرین منحنی تراز بسته، ۲۴۰۰- و بلندترین نقطه ستیغ حدود ۲۴۳۱ متر به دست آمده است. متوسط ستبرای مخزن مورد مطالعه ۵۲۰ متر است؛ که از سوی شمال باختر به جنوب خاور روندی کاهشی دارد و دست کم به ۲۸۰ متر می‌رسد.

بر پایه تغییرات سنگ‌شناسی و ویژگی‌های سنگ مخزن همچون تخلخل و وجود هیدروکربور، مخزن مورد بررسی به ۱۱ پهنه (زون‌های A1 تا D2) تقسیم‌بندی شده است. این پهنه‌ها از باختر به خاور میدان دارای تغییرات کمی و کیفی هستند (مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۹۱).

۳- روش جداسازی فرکتال

روش فرکتال از جمله روش‌های ساختاری است که افزون بر توزیع فراوانی داده‌ها، ارتباط فضایی نقاط برداشت و تغییرپذیری مقادیر برداشت شده را نیز در نظر می‌گیرد (Cheng, 1999). ماهیت فرکتالی توسط ابعاد فرکتال مشخص می‌شود (Evertsz & Mandelbort, 1992؛ Agterberg, 1994؛ Cheng, 1997؛ حسنی‌پاک و شرف‌الدین، ۱۳۸۴). با تغییر شدت داده‌ها و تعداد فازهای تغییر شدت آنها، بعد فرکتال افزایش می‌یابد و تغییر بعد فرکتالی وجود خواهد داشت. در روش‌های فرکتالی برای تحلیل داده‌های برداشت شده از تغییرات نمایی کمیت‌های مستقل به منظور تعیین هویت متغیرهای وابسته در قالب توابع لگاریتمی استفاده می‌شود. در مدل‌های فرکتالی تغییر در یک کمیت، از کمیت قابل سنجش دیگری پیروی می‌کند. تابع نمایی که رابطه میان کمیت‌های مفروض را تعریف می‌کند؛ به‌صورت $A=B^{\beta}$ است. با تبدیل این رابطه به یک رابطه خطی، معادله خط فرکتال با ضریب زاویه β حاصل می‌شود. تغییر بعد فرکتال با تغییر امتداد بخشی از معادله درجه یک حاکم بر اجزای متناظر در این معادله است. روند اغتشاشی حاکم بر تغییرات اجزای این معادله بیانگر وضعیت تغییر شکل کمیت اندازه‌گیری شده با شاخص‌های فضایی است. مدل‌های مختلفی برای به دست آوردن ابعاد فرکتالی الگوهای توزیع به کار می‌رود (Li & Shi, 2003; Bolviken et al., 1992; Cheng et al., 1994). از جمله این مدل‌ها، مدلی است که شاخص توزیع کمیت مکانی مورد اندازه‌گیری را در مقابل فراوانی آن به‌صورت زیر نشان می‌دهد:

$$LOG(N)=DLOG(A) \quad (۳$$

با رسم مقاومت ویژه در برابر متغیر فراوانی تعداد داده‌ها در یک نمودار تمام‌لگاریتمی، می‌توان بعد D هر جامعه را به وسیله شیب خط برازش شده و تغییرات آن به دست آورد (شکل ۱).

تغییر بعد فرکتالی هر بخش با انحراف شیب خط راست برازش شده مشخص خواهد شد و نقطه برخورد دو بخش نیز به عنوان حد آستانه‌ای تفکیک هر بخش از داده‌ها معرفی می‌شود. در این روش ساختاری که مبتنی بر موقعیت اندازه‌گیری داده‌ها نسبت به یکدیگر است، ارتباط فضایی داده‌ها و موقعیت آنها نسبت به یکدیگر در نظر گرفته می‌شود. جدول ۱ متغیرهای آماری مرتبط با توزیع داده‌های مقاومت ویژه لاگ چاه‌پیمایی برداشت شده را نشان می‌دهد.

به منظور کاربرد مدل فرکتالی مقاومت ویژه- فراوانی تعداد داده‌ها، ابتدا داده‌های مقاومت ویژه لاگ چاه‌پیمایی مورد مطالعه، دسته‌بندی و سپس فراوانی هر یک از دسته‌ها مشخص شد (جدول ۲). برای هر دسته، مقدار میانگین مقاومت ویژه به دست آمد. پس از محاسبه فراوانی تعداد داده‌ها و تعیین میانگین مقاومت ویژه هر دسته، نمودار تمام‌لگاریتمی تغییرات مقاومت ویژه نسبت به فراوانی تعداد داده‌ها رسم و بر پایه داده‌های موجود سه روند با ابعاد فرکتالی مختلف بر داده‌ها برازش شد (شکل ۲) که توزیع فراوانی مربوط به داده‌های برداشت شده و مشخصات توزیع داده‌ها را در هر کدام از بخش‌ها نشان می‌دهد.

در شکل ۲، سه روند خطی با ابعاد فرکتالی را می‌توان به پهنه‌های قطع شده توسط چاه مورد مطالعه نسبت داد؛ که توسط لاگ چاه‌پیمایی مقاومت ویژه برداشت شده‌اند. نقطه عطف میان قطعات روی نمودار، نشان‌دهنده حد جدایش بخش‌های مختلف از یکدیگر است. این تغییرات کاملاً روی لاگ مقاومت ویژه برداشت شده در شکل ۳ دیده می‌شود. این سه پهنه به نام‌های A1، A2 و B1 نامیده شده‌اند.

پهنه A1 که بیشتر از دولومیت و سنگ‌آهک‌های دولومیتی تشکیل شده، در فاصله ژرفی ۲۷۲۹ تا ۲۷۷۳ متری قرار گرفته و میانگین ستبرای آن در کل میدان ۴۵ متر است. میانگین تخلخل و اشباع‌شدگی آب در این پهنه نیز به ترتیب ۸ و ۵۷ درصد است. بنابراین این پهنه با توجه به ویژگی‌های پتروفیزیکی یکی از پهنه‌های خیلی خوب از دید توان هیدروکربوری است.

پهنه A2، از سنگ‌آهک‌های به‌نسبت متراکم و دولومیت‌های همراه با درصد کم انیدریت و شیل تشکیل شده است. این پهنه در فاصله ژرفی ۲۷۷۳ تا ۲۷۱۸ متری با میانگین ستبرای ۴۷ متر قرار گرفته است. میانگین تخلخل و اشباع‌شدگی آب در این پهنه به‌ترتیب ۶/۴ و ۷۳ درصد است. جنس چیره سنگ و ویژگی‌های پتروفیزیکی بیانگر پتانسیل کمتر این پهنه نسبت به پهنه A1 است.

پهنه B1، که مانند دیگر پهنه‌های مخزن روند کاهش ستبرا از باختر به سوی خاور میدان دارد، با میانگین ستبرای ۲۰ متر یکی از لایه‌های کم‌ستبراست. این پهنه در فاصله ژرفی ۲۷۱۸ تا ۲۸۳۷ متری قرار گرفته است. میانگین تخلخل این پهنه ۵/۶ و میانگین اشباع آب آن ۷۲ درصد است. سنگ‌آهک با درصد کم شیل، سنگ‌شناسی چیره این پهنه است. این پهنه به دلیل ستبرای کم، سنگ‌شناسی و حجم کم سنگ‌های مفید، پتانسیل هیدروکربوری ضعیفی دارد (مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۹۱).

۴- رابطه آرچی و ضرایب آن

در زمینه تأثیر نوع منافذ روی ارتباط میان مقاومت ویژه الکتریکی و تخلخل نیز پژوهش‌های گوناگونی صورت گرفته است. برای نخستین بار Archie (1942) نسبت مقاومت ویژه الکتریکی سنگ اشباع از آب سازند و مقاومت ویژه آب سازندی را ضریب مقاومت ویژه سازندی نامید و آن را به توانی از تخلخل ارتباط داد.

$$FRF= R_0/R_w \quad (۴$$

Wyllie & Gregory (1953) رابطه آرچی را به رابطه آتی تعمیم دادند:

$$FRF= a/\varphi_m \quad (۵$$

پیچاپیچی مسیر جریان در محیط متخلخل با متغیر a نشان داده می‌شود. تأثیر هندسه و پیچاپیچی منافذ روی مقاومت ویژه سنگ توسط این متغیر مشخص می‌شود. فاکتور پیچاپیچی مقدار مستقل و ثابتی ندارد و با متغیرهای زیادی همچون تخلخل، هندسه اتصالات منافذ، میزان دانه‌بندی نرم و ریز، میزان فشردگی و فاکتور سازندی تغییر می‌کند (Attia, 2005). مقدار فاکتور پیچاپیچی برای سنگ‌آهک‌های اُالیتی توسط Dubois et al. (2001) ۹/۵ به دست آمد.

ضریب شکل هندسی محیط متخلخل یا ضریب سیمان‌شدگی m به عواملی همچون تخلخل، مقدار تخلخل ثانویه، قطر گلوگاه‌ها، توزیع اندازه گلوگاه‌ها، حضور رس و فشار محیط بستگی دارد (کاظم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶). کمترین مقدار m برای حالتی است که تخلخل‌های موجود در نمونه متخلخل همگی با هم مرتبط باشند و منافذ بسته‌ای در سنگ وجود نداشته باشد و مقدار بالای ضریب سیمان شدگی مربوط به درجه بالای ناهمگنی، وجود لایه با تخلخل‌های ریز، وجود رس‌های صفحه‌ای و زاویه‌دار بودن دانه‌هاست (Salem & Chilingarian, 1999).

در یک مطالعه توسط Focke & Munn (1987) در مخازن کربناتی، دامنه m میان ۲ تا بیش از ۵/۵ به دست آمد. Dubois et al. (2001) برای سنگ‌های آهکی اُالیتی مقدار m را برابر ۱/۳۶ پیش‌بینی کردند. مقدار m در معادله آرچی به واسطه افزایش حضور سیمان در منافذ سنگ افزایش می‌یابد (کاظم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶).

همان گونه که در رابطه ۴ دیده می‌شود، FRF تابعی از دو متغیر وابسته به a و m است؛ بنابراین امکان تعیین a و m تنها با داشتن یک نمونه در آزمایشگاه میسر نیست (کاظم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶). در مطالعات آزمایشگاهی، از راه تهیه نمونه‌های مغزه در طول سازند با تخلخل‌های متفاوت کاملاً اشباع از آب و با رسم نمودار لگاریتمی-لگاریتمی فاکتور سازندی (FRF) در برابر تخلخل (logFRF-logϕ) مقدار m از شیب خط حاصل مطابق رابطه ۶ به دست می‌آید (Joseph et al., 1999):

$$\log FRF = \log a - m\log\phi \quad (۶$$

ولی واقعیت این است که به دلیل گوناگونی بافت و نوع تخلخل در سنگ‌های کربناتی، پراکندگی در این نمودار خیلی زیاد است. آرچی افزایش مقاومت ویژه سازند در حضور هیدروکربورها را توسط رابطه زیر به دست آورد (Lucia, 2007):

$$I= \frac{R_t}{R_0} = S_w^{-n} \quad (۷$$

در این رابطه I شاخص مقاومت ویژه، R_t مقاومت ویژه واقعی سازند و n توان اشباعی (Saturation exponent) سازند است (Lucia, 2007). رابطه آرچی حساسیت زیادی نسبت به تغییرات این متغیر دارد؛ به‌گونه‌ای که تغییر کمی در این ضریب موجب ایجاد خطای قابل ملاحظه در محاسبه اشباع‌شدگی آب می‌شود (Lucia, 2007). عواملی مانند قابلیت ترشوندگی (Wettability) یا توزیع سیال، حضور رس و جذب آب در مسیر منافذ توسط آن، کشش سطحی بین آب و نفت، فشار و دما بر تغییرات توان اشباع تأثیر دارند (Sondena et al., 1991; Anderson, 1986; Rasmus, 1986; Mahamood et al., 1991).

از ترکیب دو رابطه ۵ و ۷ رابطه معروف آرچی به دست می‌آید:

$$R_t=aR_w\varphi^{-m}S_w^{-n} \quad (۸$$

۵- الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک یک روش ارزشمند برای حل مسائل بهینه‌سازی بر پایه سیر تکامل تدریجی زیستی است. در این روش که توسط Holland (1975) معرفی شد، جمعیتی از افراد برای رسیدن به جواب بهینه در مراحل تکرار مختلف تصحیح می‌شوند. هر فرد آرایه‌ای از متغیرهای مسئله است و تابعی از این متغیرها به عنوان تابع هدف برای کمینه شدن تعریف می‌شود. جمعیت اولیه با یک تابع تصادفی تولید می‌شود و توابع دیگری فرزندان نسل‌های بعدی را تولید می‌کنند. به‌طور کلی سه روش اصلی برای تولید فرزندان نسل بعدی وجود دارد (Matlab user's Guide; 2007).

۵- ۱. ترکیب ژنتیکی والدین

بیشتر فرزندان با انتخاب مناسب دو فرد از جامعه و ترکیب ژنتیکی آنها تحت قوانین مشخص تولید می‌شوند. مجموعه قوانین انتخاب والدین و ترکیب ژنتیکی آنها با توابع تصادفی ویژه‌ای مشخص می‌شود. این توابع تأثیر شگرفی در میزان انتقال ویژگی‌های وراثتی و در نتیجه سرعت همگرایی مسئله دارند.

۵– ۲. فرزندان نمونه

در هر مرحله از تولید نسل، درصد مشخصی از افراد جامعه که بیشترین تطابق را با تابع هدف دارند، به عنوان فرزندان نمونه انتخاب و مستقیماً به مرحله بعد وارد می‌شوند. این کار به همگرایی مسئله کمک می‌کند.

۵– ۳. جهش ژنتیکی

درصدی از فرزندان با تغییرات تصادفی در کروموزوم‌های یکی از والدین تولید می‌شوند. این مدل از تولید نسل سبب گوناگونی گونه‌های ژنتیکی می‌شود و امکان جستجوی برخی پاسخ‌های احتمالی مسئله را در طیف گسترده‌تری فراهم می‌سازد.

شرایط ویژه‌ای برای توقف این الگوریتم مشخص می‌شود که در مسائل مختلف، متفاوت است. معمولی‌ترین مبنا برای پایان یافتن الگوریتم‌ها، مشخص کردن بیشینه تعداد نسل‌هاست. یک راهبرد دیگر، توقف برنامه هنگام رسیدن به مبنای همگرایی جمعیت است. یعنی هنگامی که مجموع انحراف معیارهای اعضای جمعیت پس از طی تعداد مشخصی از مراحل از یک مقدار معلوم کمتر شود، الگوریتم می‌تواند پایان یابد. عدم بهبود انحراف معیار در طی چند نسل نیز یک مبنای دیگر برای پایان دادن به برنامه است. بسته به نوع تابع هدف، هر یک از موارد بالا می‌توانند به عنوان شرط پایان یافتن الگوریتم استفاده شوند (Matlab user's Guide; 2007).

شکل ۴ خلاصه‌ای از مراحل اجرای الگوریتم ژنتیک را نشان می‌دهد. مطابق این شکل، الگوریتم ژنتیک حرکت خود را از نسلی به نسل دیگر طی، والدین را انتخاب و فرزندان را تولید می‌کند تا آنکه به یک شرط پایان دهنده برسد.

الگوریتم ژنتیک برای حل یک مسئله، مجموعه بزرگی از پاسخ‌های ممکن را تولید می‌کند. هر یک از این پاسخ‌ها با استفاده از یک تابع برازش (Best Fitness Function)، مورد ارزیابی قرار می‌گیرد. سپس تعدادی از بهترین پاسخ‌ها سبب تولید و تکامل پاسخ‌های جدید می‌شوند. بدین ترتیب فضای جستجو در جهتی تکامل پیدا می‌کند که به پاسخ مطلوب برسد. مقدار تابع هدف برای هر نسل به دست می‌آید و در صورت تحقق یکی از معیارهای توقف الگوریتم، مقدار نهایی تابع هدف تعیین می‌شود (Matlab user's Guide; 2007).

از آنجا که در مخازن کربناتی به دلیل بافت، شکل و چگونگی توزیع حفرات برای ضرایب آرچی نمی‌توان مقادیر ثابت در نظر گرفت؛ در اینجا الگوریتم ژنتیک به منظور بهینه کردن مقدار متغیرهای رابطه آرچی در کل ستون نفت چاه مورد بررسی برای هر ۳ پهنه A1، A2 و B1 به کار گرفته شد. برای تعریف تابع برازش، معادله آرچی در هر کدام از پهنه‌ها به‌صورت زیر نوشته شد:

$$Fit = S_w - \left(\frac{aR_w}{R_t \varphi^m}\right)^{\frac{1}{n}} \quad (۹$$

تابع هدف که به‌صورت مجموع مجذور تفاضل میان اختلاف مقادیر اشباع آب ایجاد شده است توسط الگوریتم ژنتیک و مقادیر اشباع آب نمونه‌برداری شده که به‌صورت جمعیت ورودی به الگوریتم است، تعریف می‌شود و تابع برازش را به کمترین میزان ممکن می‌رساند. نزدیکی تابع هدف به صفر نشان‌دهنده مرغوبیت نسل و نزدیکی پاسخ ایجاد شده به جواب مسئله است.

در این پژوهش، جمعیت الگوریتم برابر ۱۰۰ فرض شده است. جمعیت اولیه با یک توزیع یکنواخت انتخاب می‌شود. انتخاب والدین نیز به‌صورت تصادفی و با توزیع یکنواخت انجام شده است. ژن‌های فرزندان از ژن‌های هر یک از والدین به‌طور تصادفی انتخاب می‌شوند. در هر مرحله ۵ درصد از افرادی که بیشترین میزان تطابق با تابع هدف را داشته باشند، به عنوان فرزندان نمونه انتخاب می‌شوند و مستقیماً به مرحله بعد می‌روند. جهش ژنتیکی نیز روی ۳ درصد از افراد و با یک تابع توزیع عادی استاندارد تحقق می‌یابد. برای رسیدن به پاسخ دقیق‌تر، مقدار دامنه تغییرات مجاز در تغییرات تجمعی تابع هدف برابر 1e-10 انتخاب شده که عدد بسیار کوچکی برای این کمیت است. انتخاب این مقدار کوچک برای دامنه تغییرات مجاز، سبب توقف دیرتر الگوریتم و طولانی شدن مراحل اجرای آن می‌شود؛ ولی به جواب دقیق‌تری می‌رسد.

مقادیر R_t ،S_w و φ بر پایه لاگ‌های محاسباتی مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران در چاه مورد مطالعه در طول ستون نفت در دسترس هستند و به‌صورت بردارهایی به مدل معرفی می‌شوند. R_w به میزان شوری و دما بستگی دارد. میزان شوری آب مغزه‌ها و دمای مخزن از گزارش ارزیابی پتروفیزیکی چاه مورد مطالعه در دسترس است. پس از تعیین برازش همه افراد، عملگرهای انتخاب، ادغام و جهش انجام گرفته و ساختار جدید ایجاد می‌شود. با تکرار این مراحل، پاسخ بهینه به دست می‌آید. جدول ۳ متغیرهای بهینه به دست آمده در هر پهنه مخزن مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در مخزن مورد مطالعه مقادیر واقعی مربوط به متغیر m میان ۱/۶ تا ۲/۴۶ و متغیر n میان ۱/۶ تا ۲/۶ تغییر می‌کنند. مقدار خطا، نشان‌دهنده اختلاف بهترین تابع برازش یافته با مقادیر برآورد شده متغیرهای آرچی بر داده‌های با مقادیر واقعی است.

شکل‌های ۵- الف، ب و ج سیر تکاملی تابع برازش را در فرایند تولید نسل به‌ترتیب برای اولین، دومین و سومین پهنه زمین‌شناسی در ستون هیدروکربوری چاه مورد مطالعه و مجموعه پاسخ‌های حاصل از آنها نشان می‌دهد.

همان‌گونه که نمودارهای سیر تکاملی تابع برازش نشان می‌دهند، بهترین مقدار تابع برازش در شکل ۵- الف که مربوط به پهنه A1 است، برابر ۰/۰۰۳۵، در شکل ۵- ب که مربوط به پهنه A2 است، برابر ۰/۰۰۴۵ و در شکل ۵- ج که مربوط به پهنه B1 است، برابر ۰/۰۰۰۵ است. با در دست داشتن مقادیر بهینه برای متغیرهای آرچی، می‌توان مقدار اشباع‌شدگی را در طول ستون هیدروکربور چاه مورد مطالعه به دست آورد.

۶– نتیجه‌گیری

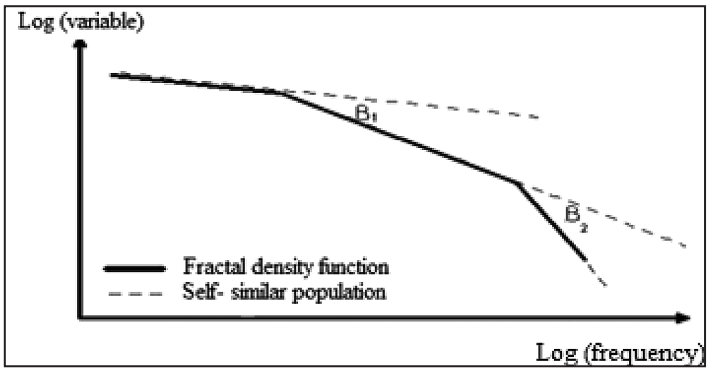
بنیادی‌ترین رابطه محاسبه اشباع از آب در مخازن هیدروکربوری، رابطه آرچی است. تعیین متغیرهای آرچی با استفاده از روش‌های زیادی مانند روش‌های گرادیان، آماری و یا آزمایشگاهی انجام می‌شود. برآورد متغیرهای آرچی در محیط‌های مختلف مسئله‌ای پیچیده بوده و عوامل مبهم و نامشخصی بر آن تأثیر دارند. تعیین این متغیرها به‌صورت تک‌تک موجب افزایش خطای برآورد در محاسبه اشباع از آب می‌شود. بنابراین تعیین همه فرض‌ها و شرایط زمین‌شناسی محیط اندازه‌گیری در تعیین متغیرهای رابطه آرچی مهم است.

الگوی‌های فرکتالی که بر پدیده‌های طبیعی زمین‌شناسی حاکم هستند، در قالب توابع خطی- لگاریتمی با استفاده از تغییرات نمایی کمیت‌های مستقل، به بررسی متغیر وابسته می‌پردازند. جوامع فرکتالی مختلف موجود در داده‌ها با تغییرات بعد فرکتال داده‌ها از یکدیگر تفکیک می‌شوند. این جوامع فرکتالی در اثر تغییر شرایط زمین‌شناسی، سنگ‌شناسی و پدیده‌های محیطی در داده‌ها ایجاد شده‌اند.

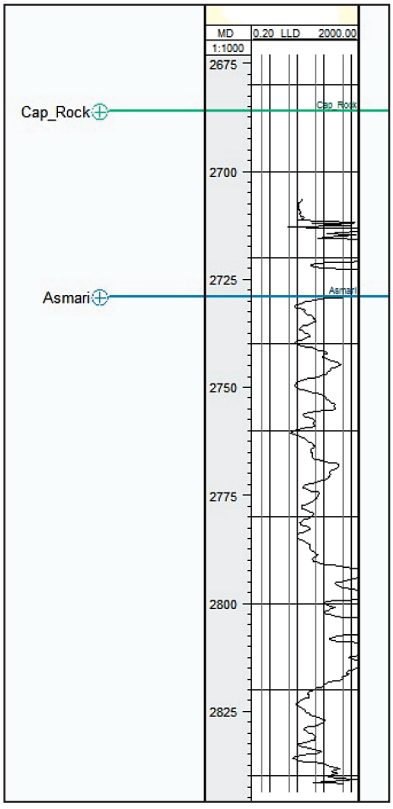
روندهای فرکتالی موجود در مدل تمام لگاریتمی مقاومت ویژه- فراوانی تعداد داده‌های مقاومت ویژه، وجود زیرجوامع مختلف موجود در داده‌ها را نشان می‌دهند. نقطه عطف تغییر بعد فرکتالی جوامع مختلف، حد آستانه‌ای شروع این جوامع را نشان می‌دهد. با تعیین حد آستانه‌ای شروع هر زیرجامعه، تشخیص مرز شروع داده‌های زیرجامعه مورد نظر ممکن خواهد بود. این زیرجوامع، نشان‌دهنده پهنه‌های مختلف زمین‌شناسی در ژرفای مورد بررسی هستند؛ که هر کدام ویژگی‌های سنگ‌شناسی بی‌همتایی دارند. بنابراین در طول ستون هیدروکربور مورد بررسی ۳ پهنه زمین‌شناسی مختلف وجود دارد؛ که در هر کدام از این پهنه‌ها، متغیرهای رابطه آرچی مقادیر مختلفی دارند.

روش هوشمند الگوریتم ژنتیک برای بهینه‌سازی برآورد متغیرهای رابطه آرچی در این پژوهش استفاده شده است. این روش به خوبی می‌تواند متغیرهای رابطه آرچی را در هر کدام از ۳ پهنه ستون هیدروکربور در چاه مورد مطالعه برآورد

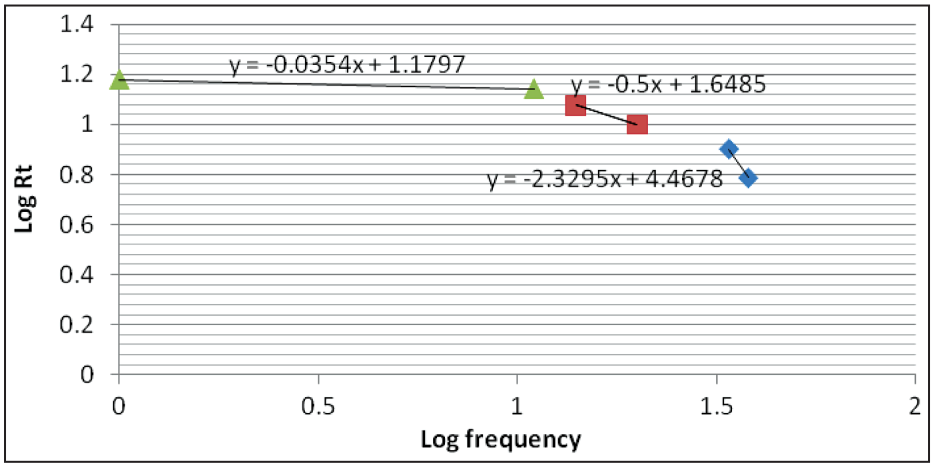
کند. از مزایای روش الگوریتم ژنتیک، محاسبه همزمان متغیرهای آرچی است؛ که این موضوع در افزایش دقت، سرعت و درستی برآورد این متغیرها در مقایسه با دیگر روش‌های محاسباتی و آزمایشگاهی نقش مهمی دارد. این روش، ضرایب رابطه آرچی را که به نقطه اندازه‌گیری و سنگ‌شناسی محیط وابسته و به‌طور کلی ناشناخته هستند، بدون تحلیل نمونه‌های سنگی با خطای کم نشان می‌دهد. بنابراین برای بررسی تأثیر چگونگی قرارگیری منافذ و شکل آنها روی ویژگی‌های پتروفیزیکی، در نظر گرفتن فاکتور ژرفای بررسی داده‌ها می‌تواند از دید زمین‌شناسی و سنگ‌شناسی مهم باشد.



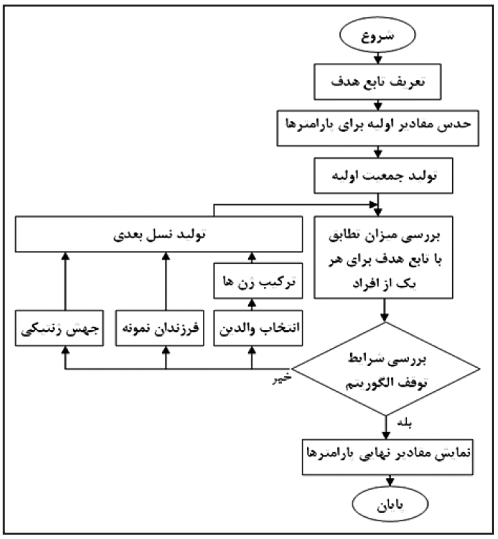
شکل ۱- تفکیک جوامع موجود در داده‌های اکتشافی با الگوی متغیر- تعداد.



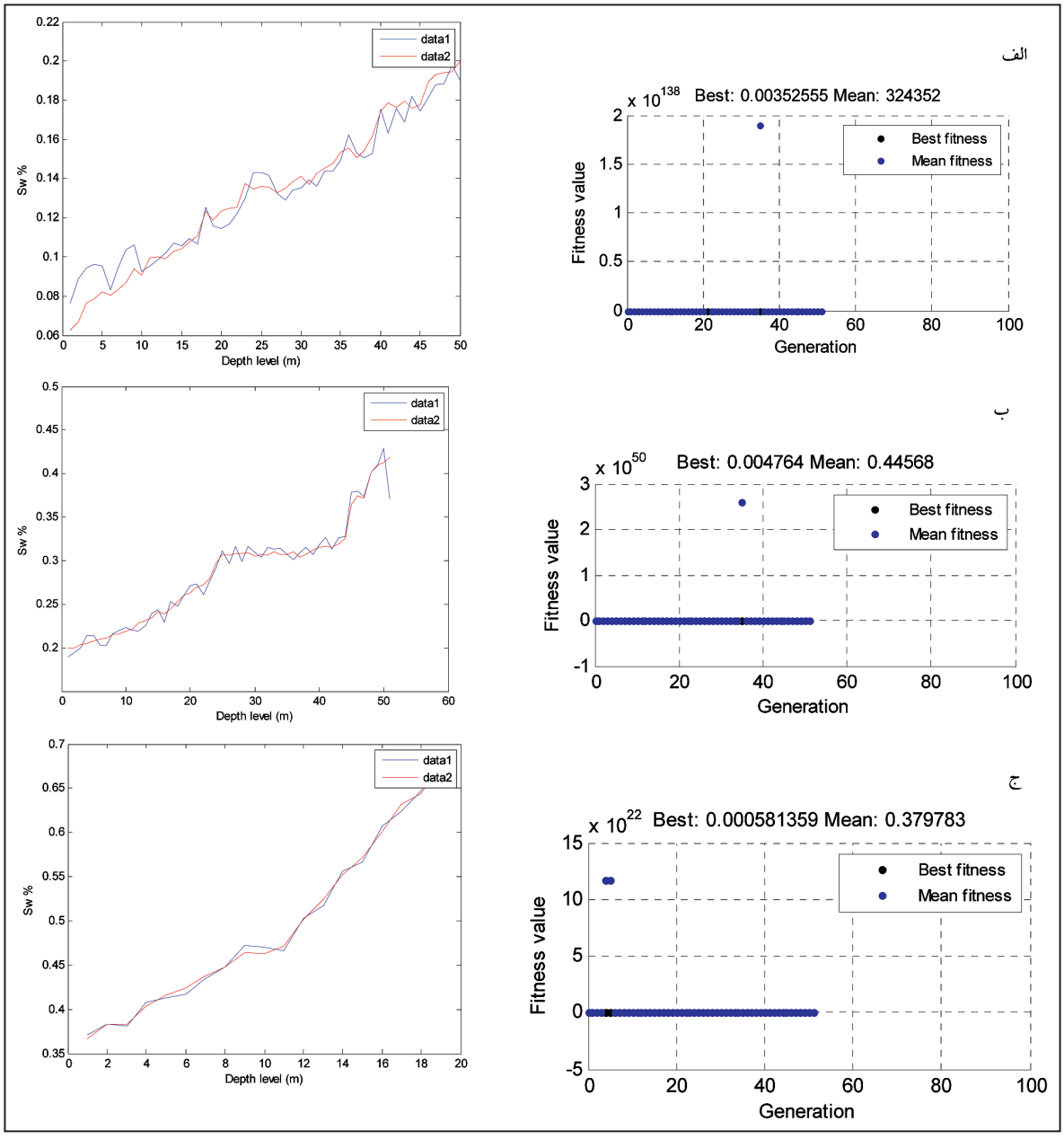
شکل ۳- لاگ مقاومت ویژه برداشت شده از چاه مورد مطالعه.



شکل ۲- مدل فرکتالی لگاریتمی مقاومت ویژه - فراوانی تعداد داده‌های مقاومت ویژه لاگ چاه‌پیمایی.



شکل ۴- چرخه عملکرد الگوریتم ژنتیک (Matlab user's Guide, 2007).



شکل ۵- الف) سیر تکاملی تابع برازش مربوط به پهنه A1؛ ب) سیر تکاملی تابع برازش مربوط به پهنه A2؛ ج) سیر تکاملی تابع برازش مربوط به پهنه B1.

جدول ۱- مشخصات آماری داده‌های مربوط به مقاومت ویژه در چاه مورد مطالعه.

Mean(Hz)	Max(Hz)	Min(Hz)	Std(Hz)
۸/۷۸	۱۵/۱۲	۵/۳۲	۲/۶۲

جدول ۲- نتایج حاصل از رده‌بندی و تعیین فراوانی هر دسته از داده‌های مقاومت ویژه لاگ چاه‌پیمایی مورد مطالعه.

Log (مقاومت ویژه)	Log (فراوانی دسته‌ها)	میانگین دسته	تعداد	حد پایین دسته
۰/۷۸	۱/۵۷	۶/۱۳	۳۸	۵
۰/۹	۱/۵۳	۷/۹۴	۳۴	۷
۰/۹۹	۱/۳	۹/۹۵	۲۰	۹
۱/۰۷	۱/۱۴	۱۱/۸۹	۱۴	۱۱
۱/۱۴	۱/۰۴	۱۳/۸۹	۱۱	۱۳
۱/۱۷	۰	۱۵/۱۲	۱	۱۵

جدول ۳- متغیرهای بهینه به دست آمده در هر پهنه مخزن مورد مطالعه.

Level	Interval (m)	m	n	a	error
۱	۲۷۲۹-۲۷۷۳	۱/۱۴	۱	۰/۹	۰/۰۰۳۵
۲	۲۷۷۳-۲۸۱۸	۲/۰۲	۱/۸۴	۰/۹	۰/۰۰۴۵
۳	۲۸۱۸-۲۸۳۷	۱/۸۴	۱/۲۸	۱/۱	۰/۰۰۰۵

کتابنگاری

حسنی پاک، ع.ا و شرف الدین، م.، ۱۳۸۴- تحلیل داده های اکتشافی، انتشارات دانشگاه تهران.

کاظم زاده، ع.، نبی‌بیدهندی، م.، کرامتی، معزآباد، م.، رضایی، م.ر. و سعادت، ک.، ۱۳۸۶- تعیین ضرایب آرچی در پتروفاسیس‌های متفاوت سنگ‌های کربناته با استفاده از نگارهای انحراف سرعت امواج لرزه‌ای، مجله فیزیک زمین و فضا، ۳۳، ۵۱-۶۶.

مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران، ۱۳۹۱- گزارش ارزیابی پتروفیزیکی.

References

Agterberg, F. P., 1994- "Fractals, multifractals, and change of support". In: Dimitrakopoulos, R. (Ed.), Geostatistics for the Next Century. Kluwer, Dordrecht, p.p. 223–234. (http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-94-011-0824-9_27).

Anderson, W. G., 1986- "Wettability Literature Survey – Part 3: Effect of Wettability on the Electrical Properties of Porous Media"; JPT pp. 1371-78. (https://www.spe.org/jpt/print/archives/).

Archie, G. E., 1942- "The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics", Trans. Americ. Mineral. Met., 146, 54-62. (https://archive.org/details/transactionsame25unkngoog).

Attia, M. A., 2005- "Effects of petrophysical rock properties on tortuosity factor"; J. Pet. Sci. Eng. 48, 185–198. (http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920410505001142).

Bolviken, B., Stokke, P. R., Feder, J. & Josany, T., 1992- "The fractal nature of geochemical landscapes", Journal of Geochemical Exploration 43, p.p. 91-109. (http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/037567429290001O).

Cheng, Q., 1997- "Fractal-multifractal and spatial analysis". In: Vare Pawlowsky Glahn (Ed.), Proc. Int. Assoc. Mathematical Geology Meeting, the International Centre for Numeric Methods in Engineering (CIMNE), Barcelona, I, p.p. 57–72.

Cheng, Q., 1999- Spatial and scaling modeling for geochemical anomaly separation, Journal of Geochemical Exploration 63 (3), p.p. 175–194. (http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S037567429900028X).

Cheng, Q., Agterberg, F. P. & Ballantyne, S. B., 1994- "The separation of geochemical anomalies from background by fractal methods", Journal of Geochemical Exploration 51, p.p. 109–130. (http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0375674294900132).

Cheng, Q., Agterberg, F. P. & Bonham-Carter, G. F., 1996- "A spatial analysis method for geochemical anomaly separation", Journal of Geochemical Exploration, Vol. 56 (3): 183–195. (http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0375674296000350).

Dubois, M. K., Byrnes, A. P. & Watney, W. L., 2001- "Field development and renewed reservoir characterization for Co_2 flooding of the Hall- Gurney Field, Central Kansas"; AAPG Annual Convention in Denver, Colorado. (http://www.searchanddiscovery.com/abstracts/html/2001/ annual/abstracts/0202.htm).

Ellis, D. V. & Singer, J. M., 2007- "Well logging for earth scientists"; 2nd Edition, Springer, 692 pp. (www.springer.com).

Evertsz, C. J. G. & Mandelbrot, B. B., 1992- "Multifractal measures". In: Peitgen, H.-O., Ju¨rgens, H., Saupe, D. (Eds.), Chaos and Fractals. Springer, New York, p.p. 922–953.

Focke, J. W. & Munn, D., 1987- "Cementation exponents in middle eastern carbonate reservoirs"; SPE Form. Eval. 2, 155–167. (https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-13735-PA).

Holland, J. H., 1975- "Adaption in natural and artificial systems"; University of Michigan Press, Ann Arbor, USA, 183 pp. (http://www.worldcat.org/).

Joseph, R., Hrarst, P., Nelson, H. & Paillet, F. L., 1999- "Well logging for physical properties: a handbook for geophysicists, geologists and enjeenes"; 2nd ed., Wiley, pp 423-428. (http://eu.wiley.com/).

Li, C., Ma, T. & Shi, J., 2003- "Application of a fractal method relating concentrations and distances for separation of geochemical anomalies from background", Journal of Geochemical Exploration 77, p.p. 167-175. (http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/ S0375674202002765).

Lucia, F. J., 2007- "Carbonate Reservoir Characterization, An Integrated Approach"; Second Edition, Springer, 336 pp. (http://www.springer.com).

Mahamood, S. M., Maerefat, N. L. & Chang, M. M., 1991- "Laboratory Measurement of Electrical Resistivity at Reservoir Conditions"; SPEFE, pp. 291-300, Sep. (https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-18179-PA).

Matlab user's Guide, 2007- Matlab CD- ROM, by the Mathworks, Inc.

Nugent, W. H., Coates, G. R. & Peebler, R. P., 1978- "A new approach to carbonate analysis"; 19th SPWLA Symposium. (https://www.onepetro.org/conference-paper/SPWLA-1978-O).

Rasmus, J. C., 1983- "A variable cementation exponent, m, for fractured carbonates"; Log Anal. 24, 13–23. (https://www.onepetro.org/journal-paper/SPWLA-1983-vXXIVn6a2).

Rasmus, J. C., 1986- "A Summary of the Effects of Various Pore Geometries and Their Wettabilities on Measured and In-Situ values of Cementation and Saturation Exponents"; Trans. SPWLA Section PP. (http://www.spwla.org/publications/view/item/922).

Salem, H. S. & Chilingarian, G. V., 1999- The cementation factor of Archies equation for shaly sandstone reservoirs, J. Petrol. Sci. Eng. 23, 83-93. (http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0920410599000091).

Sondena, E., Brattell, F., Kolltvelt, K. & Normann, H. P., 1991- "The Effect of Reservoir Conditions and Wettability on Electrical Resistivity"; Paper SPE 22991, SPE Asia Pacific, Nov. 4-7. (https://www.onepetro.org/conference-paper/SPE-22991-MS).

Turcotte, D. L., 2002-"Fractals in petrology". Lithos. Vol. 65: 261–271. (http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0024493702001949).

Wyllie, M. R. J. & Gregory, G. R., 1953- "Formation factor of unconsolidated porous media: Influence of particle shape and effect of cementation", Petrol. Trans. AIME, 198, 103- 110. (https://www.onepetro.org/journal-paper/SPE-223-G)

The Effect of Lithology in Defining Archie's Parameters in the Rock Zones of Asmari in a Carbonate Reservoir of Southwest Iran

S. Tabasi [*1], A. Kamkar Rouhani [2] & M. M. Khorasani [3]

[1] Ph.D. Student, Faculty of Mining, Petroleum and Geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
[2] Associate Proffesor, Faculty of Mining, Petroleum and geophysics, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran
[3] M.Sc., NIOC Exploration, Tehran, Iran

Received: 2014 October 07 Accepted: 2015 February 15

Abstract

Archie's equation, which is the most fundamental equation for water saturation calculation, consists of three factors: Cementation factor (m), saturation exponent (n) and tortuosity (a). Cementation factor is a function of the shape of pores. Hence, the study of pore type is important in determining the Archie's coefficients. In order to achieve more precise and reliable results in Archie's coefficient determination and then water saturation accurately, the rocks must be rated based on texture and porosity type, where the coefficients should be constrained for each class. In this paper, fractal method is used to rate the resistivity log data and calculate Archie's coefficient in an exploration well of a hydrocarbon reservoir in southwest of Iran. The results show three different zones based on porosity type and texture of the rocks. Then the Genetic algorithm method is used to calculate the Archie's coefficients in each of the zones separately. The results show that this method is able to consider the complex behavior of each of the coefficients in the calculations.

Keywords: Hydrocarbon, Fractal, Resistivity log, Genetic algorithm.

For Persian Version see pages 159 to 166

*Corresponding author: S. Tabasi; E-mail: somayehtabasi@yahoo.com