Archive of SID

مجله علوم دانشگاه تهران
جلد سی و یکم (۱۳۸۴) شماره ۱ (۱۶۶-۱۵۵)

مدل‌سازی تراوائی در مخازن ناهمگون با استفاده از منطق فازی

حسام آلوکی بختیاری
علی محمد باقری
پژوهشگاه صنعت نفت
e-mail:bakhtiarih@ripi.ir
(دریافت: ۸۳/۳/۴ ؛ پذیرش:۸۳/۸/۷)

چکیده

تخمین پارامترهای پتروفیزیکی مخزن شامل تخلخل، اشباع‌شدگی و تراوائی اولین و مهمترین گام در ارزیابی صحیح مخزن و مدل‌سازی مخازن می‌باشد.تخلخل و اشباع‌شدگی را می‌توان از نمودارهای خام پتروفیزیکی و همچنین آزمایشات مغزه تعیین نمود، در حالیکه تراوائی فقط به طور مستقیم از نتایج آزمایشات مغزه تعیین می‌شود. از آنجائیکه به دلیل مسائل اقتصادی و فنی امکان مغزه‌گیری در تمامی چاه‌های یک میدان و یا حتی بطور کامل در طول یک چاه میسر نیست لذا تخمین تراوائی با استفاده از داده‌های مغزه و نمودارهای پتروفیزیکی ضروری است.

در این مطالعه از منطق فازی به عنوان یک رهیافت جدید و نیرومند در تخمین تراوائی از نمودارهای پتروفیزیکی در یکی از مخازن ناهمگون کشور استفاده شده است.

واژه‌های کلیدی: *منطق فازی، امکان فازی، تابع عضویت.*

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

تراوائی پارامتری است که جریان سیالات درون مخزن را در مرحله تولید کنترل می‌کند.این پارامتر به طور مستقیم در آزمایشگاه با عبور جریان سیال از نمونه‌های پلاگ تهیه شده از مغزه و با استفاده از قانون دارسی بدست می‌آید.در چاه‌هائی که فاقد مغزه هستند تخمین تراوائی ضروری می‌باشد .برای تخمین تراوائی در یک چاه می‌توان از تلفیق اطلاعات تخلخل و تراوائی مغزه با اطلاعات زمین‌شناسی، گروه‌های سنگی را تعیین و در هر گروه از روابط موجود بین تخلخل وتراوائی به عنوان مدل تخمین تراوائی استفاده نمود. در مواردی که اطلاعات کافی زمین‌شناسی در رابطه با ساختار و نوع تخلخل موجود در سنگ وجود نداشته باشد استفاده از نمودار تخلخل و تراوائی جهت تعیین مدل تراوائی در لیتولوژی‌های مختلف مناسب نخواهد بود.

سیستم‌های هوشمند به عنوان ابزار قدرتمند مدل‌سازی و تخمین در شاخه‌های مختلف علوم و مهندسی به کار گرفته شده‌اند. در میان روش‌های مدل‌سازی نوین، سیستم‌های فازی جایگاه ویژه‌ای را کسب نموده‌اند. این سیستم‌ها قادرند با تعداد کمتری از داده‌های موجود و با کمی کردن عدم قطعیت ناشی از ابهام و کمبود داده‌ها فرآیند تخمین را عملی سازند (Matthews, 2000 and Cuddy, 2000).

در سال‌های اخیر تکنیک‌های ریاضی فازی در حل برخی از مسائل زمین‌شناسی به کار گرفته شده اند کودی (Cuddy, 1997) وهامبالک (Hambalek, 2003) از منطق فازی به منظور تخمین تراوائی و طبقه‌بندی رخساره‌های سنگی در چاه‌هایی که فاقد مغزه بودند استفاده نموده و از نتایج حاصل در تطابق زمین‌شناسی چاه‌ها و ساخت مدل سه بعدی زمین‌شناسی بهره گرفته‌اند (Hambalek, 2003 and Cuddy, 1997). همچنین فانگ (Fang, 1997) از مدل فازی در تخمین تخلخل و تراوائی در ماسه سنگ‌ها استفاده نموده و متیو وهمکاران(Matthew *et al* , 2000) با استفاده از منطق فازی واحدهای جریان را در یک میدان نفتی شناسائی نمودند.

در این مطالعه منطق فازی جهت تخمین تراوائی از نمودارهای پتروفیزیکی در یکی از بزرگترین مخازن ناهمگون نفتی کشو با ابعاد تقریبی ۶ در ۷۰ کیلومتر بکار گرفته شده است.

تخمین تراوائی با استفاده از رابطه تخلخل و تراوائی مغزه

در میدان مورد مطالعه، محیط‌های رسوبی،عوامل زمین‌شناسی و طبیعت سنگ سبب پیدایش مخزن ناهمگون و پیچیده از لحاظ زمین‌شناسی در افق آسماری شده است. بر مبنای اطلاعات زمین‌شناسی، توصیف مغزه و مقاطع نازک مربوط به ۱۲ حلقه چاه مغزه‌گیری شده در میدان

www.SID.ir

Archive of SID

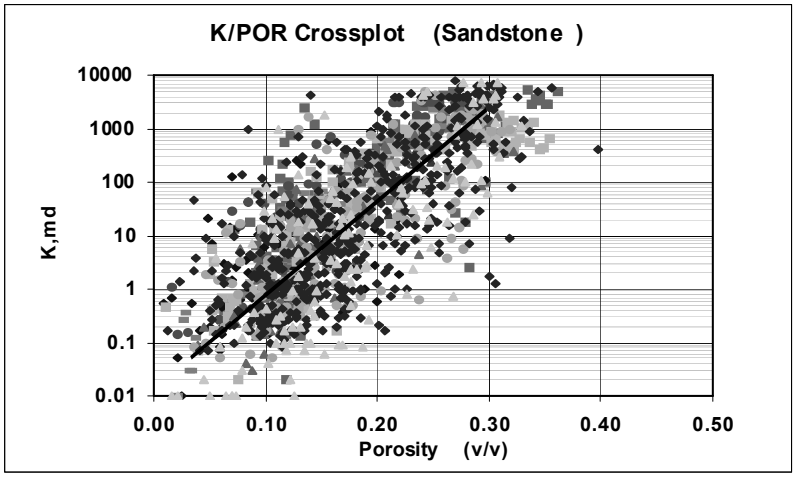
مورد مطالعه، داده‌های مغزه به سه رخساره سنگی آهکی، دولومیتی و ماسه‌سنگی تقسیم بندی شده و اطلاعات تخلخل و تراوائی مغزه‌های مربوط به هر رخساره سنگی در نمودارهای نیمه لگاریتمی تخلخل - تراوائی مشخص شده‌اند (شکل‌های۱تا۳). با برازش بهترین خط بر داده‌های موجود در هر نمودار معادله‌ای به صورت کلی $K = 10^{a\Phi+b}$ جهت تخمین تراوائی به‌دست می‌آید.در زیر معادله تراوائی بر حسب تخلخل برای هر سه رخساره سنگی آهک، دولومیت و ماسه سنگ ارائه شده است.

آهک $K = 10^{15.162\,\Phi-1.731}$ $R^2 = 0.59$

دولومیت $K = 10^{13.739\,\Phi-1.524}$ $R^2 = 0.51$

ماسه‌سنگ : $K = 10^{14.254\,\Phi-1.178}$ $R^2 = 0.58$

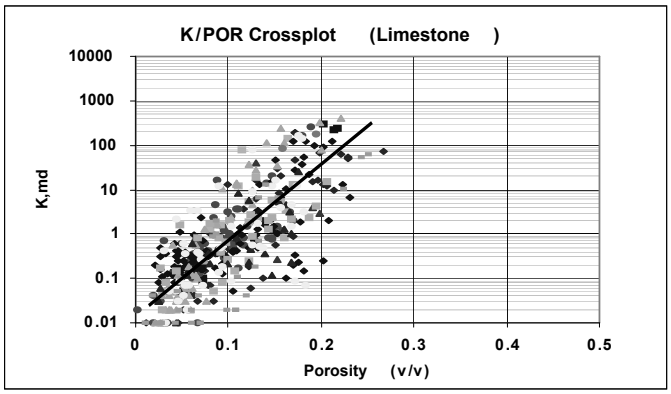
با توجه به پراکندگی نقاط در نمودارهای فوق میزان تراوائی تخمین زده شده توسط معادلات ذکر شده از دقت لازم برخوردار نبوده و می‌توان از روش‌های دیگری مانند منطق فازی جهت تخمین تراوائی استفاده نمود.



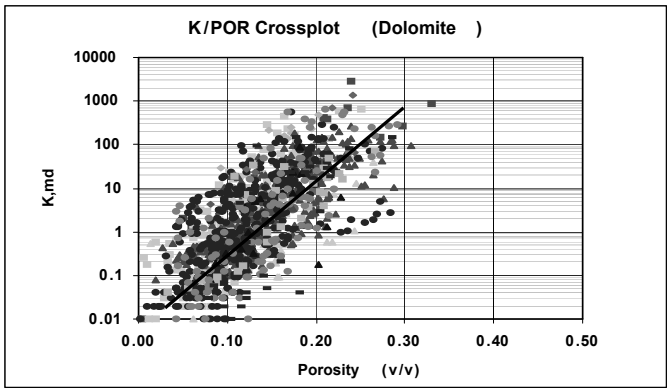
شکل۱- نمودار نیمه لگاریتمی تخلخل- تراوائی برای ماسه سنگ (هرعلامت مربوط به یک چاه است).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۲- نمودار نیمه لگاریتمی تخلخل- تراوائی برای آهک (هر علامت مربوط به یک چاه است).



شکل۳- نمودار نیمه لگاریتمی تخلخل- تراوائی برای دولومیت (هر علامت مربوط به یک چاه است).

منطق فازی

منطق فازی در سال ۱۹۶۵ توسط پرفسور لطفی‌زاده استاد ایرانی الاصل دانشگاه برکلی کالیفورنیا مطرح شد. این روش بیانگر مفاهیم چند ارزشی به جای نگرش دو ارزشی (صفر و یک) است. بسیاری از پدیده‌ها وجود دارند که توجیه آن‌ها در چارچوب یک طیف پیوسته بین صفر و یک به طور مناسب‌تری صورت می‌گیرد (Cuddy, 1997).

منطق‌فازی بر پایه مجموعه‌های فازی تعریف می‌شود.بر خلاف مجموعه‌های معمولی که دارای مرز معین می‌باشند ،یک مجموعه فازی مجموعه‌ای از داده‌ها با مرز غیرقطعی می‌باشد. در مواردی که مرز دو یا چند جامعه به طور قطعی جدا از یکدیگر باشند، آنگاه میزان عضویت

www.SID.ir

Archive of SID

هرنمونه به هر یک از جامعه‌ها صفر و یا یک است. در این صورت چنین جامعه‌ای از قوانین فازی تبعیت نمی‌کند. در عمل معمولاً با شرایطی مواجه هستیم که در آن هر نمونه با امکان معینی به هر یک از دو جامعه تعلق دارد. این امکان در کمیتی به نام درجه عضویت انعکاس می‌یابدکه مقدار آن در دامنه صفر تا یک تغییر می‌کند. مجموعه درجه‌های عضویت اعضای یک مجموعه فازی مانند (A) به نام تابع عضویت (Membership Function) آن مجموعه خوانده می‌شود. تابع عضویت یک مجموعه فازی یک نگاشت از اعضای مجموعه (A) در بازه صفر و یک است به گونه‌ای که درحالت کلی هر تابعی که چنین نگاشتی را پیدا کند می‌تواند به عنوان تابع عضویت یک مجموعه فازی مورد استفاده قرار گیرد. به عنوان مثال می‌توان به توابع عضویت مثلثی، ذوزنقه‌ای، گوسی (نرمال) و دو گوسی اشاره نمود. برای تعیین تابع عضویت، رسم نمودار توزیع فراوانی تعدادی از داده‌های شناخته شده ضروریست. هر یک از این نمودارها بایستی جهت تبدیل فراوانی به امکان (Possibility)، نرمالایز شوند تا بتوان تابع عضویت مناسب را به آنها برازش نمود. هنر بکارگیری این روش در بکارگیری چنان تابع عضویتی است که بتواند در جهت رسیدن به اهداف محاسباتی و یا تخمین، حد اکثر قدرت مدل‌سازی را داشته باشد (Cuddy, 2000).

تخمین تراوائی با استفاده از منطق فازی

اساسی‌ترین مبحث در تئوری فازی بحث تابع عضویت و چگونگی تعریف آن است. (شکل۴) نمودار فراوانی داده‌های تخلخل مربوط به دو نوع سنگ در مخزن مورد مطالعه را که به تابع امکان نرمالایز شده‌اند نشان می‌دهد.

در انجام این تحقیق با توجه به توزیع داده‌های پتروفیزیکی مخزن مورد مطالعه (تخلخل، نمودار اشعه گاما،...) از تابع توزیع نرمال (گوسی) به عنوان تابع عضویت استفاده شد.

نمودار تابع توزیع نرمال به شکل یک منحنی زنگوله‌ای کاملاً متقارن است که با پارامترهای آماری میانگین (مقدار متناظر با حدأکثر فراوانی) و واریانس که نشان دهنده میزان پراکندگی داده‌هاست مشخص می‌شود.

$$P(x)=\frac{e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2}}{\sigma\sqrt{2\pi}} \qquad (۱)$$

www.SID.ir

Archive of SID

با استفاده از تابع فوق می‌توان احتمال(x)P رخداد هر مقدار خاصی (x) را محاسبه نمود. سطح زیر منحنی در فاصله مشخص احتمال رخداد یک متغیر را در آن فاصله مشخص می‌کند. منحنی توزیع نرمال برای تخمین احتمال نسبی یا امکان فازی نسبت‌دادن یک داده به یک قسمتی از مجموعه مورد استفاده قرار می‌گیرد (Cuddy, 2000).

ابتدا داده‌های تراوائی مغزه‌ها به ده قسمت مساوی یا بیشتر با مقیاس لگاریتمی تقسیم می‌شوند. تعداد قسمت‌ها بستگی به تعداد داده‌های تراوائی مغزه در دسترس دارد. سپس هر یک از این قسمت‌ها با نمودارهای پتروفیزیکی مقایسه می‌شوند. داده‌های پتروفیزیکی متناظر با هر قسمت آنالیز شده و میانگین و انحراف معیار هر یک از آنها در بازه هر قسمت محاسبه می‌شود.

اگر یک قسمت دارای تابع توزیع تخلخل با میانگین μ() و انحراف معیار σ() باشد، امکان فازی که یک میزان تخلخل در این قسمت اندازه‌گیری شود از رابطه (۱) بدست می‌آید. از آنجا که تراوائی به بیش از ده قسمت تقسیم شده است یک میزان تخلخل می‌تواند به هر یک از قسمت‌ها نسبت داده شود اما امکان وابستگی آن به بعضی از قسمت‌ها نسبت به بقیه نزدیکتر است. توزیع تخلخل هر قسمت دارای میانگین و انحراف معیار مختص به خود می‌باشد که با (μ_R) و (σ_R) مشخص می‌شود. امکان فازی میانگین کل اندازه‌گیریها یا (μ) به صورت زیر بیان می‌شود.

$$P(x) = \frac{e^{-(\mu-\mu)^2/2\sigma^2}}{\sigma\sqrt{2\pi}} = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \qquad (۲)$$

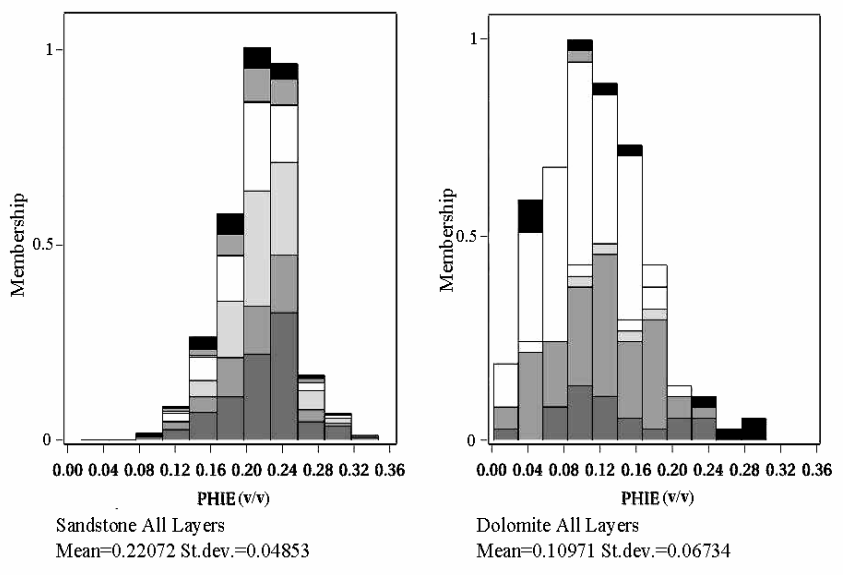
با تقسیم رابطه (۱) به رابطه (۲) امکان فازی نسبی تخلخل در یک قسمت به امکان فازی میانگین تخلخل کل جامعه به دست می‌آید.

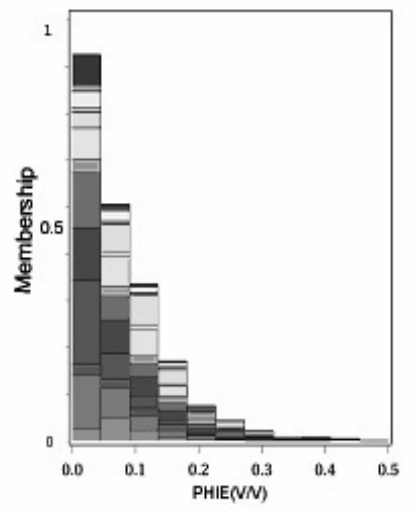
$$R(x_R) = e^{-(x-\mu_R)^2/2\sigma_R^2} \qquad (۳)$$

با دانستن میانگین و انحراف معیار هر قسمت امکان فازی اینکه یک نقطه می‌تواند درآن قسمت قرار گیرد از رابطه (۳) محاسبه می‌شود. امکان‌های فازی برای متغیرهای مختلف در هر قسمت با هم ترکیب می‌شوند و امکان فازی مرکب جهت تخمین تراوائی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Cuddy, 2000).

www.SID.ir

Archive of SID





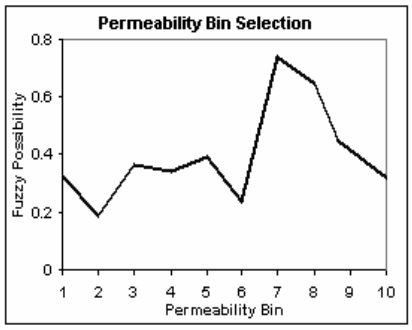
Limestone, All Layers
Mean=0.075454, St.dev. =0.072049

شکل۴- رسم توزیع فراوانی تعیین نوع تابع عضویت با استفاده از نرم‌افزار کردن توزیع داده‌های تخلخل در ماسه‌سنگ، دولومیت و آهک لایه‌های مختلف مخزن (رنگ‌بندی نمودار انواع لایه‌های مخزن را مشخص می‌کند).

www.SID.ir

Archive of SID

شکل۵ نتایج این آنالیز را برای هر یک از قسمت‌های تراوائی نشان می‌دهد. هر قسمت دارای امکان فازی مختص خود می‌باشد. بالاترین امکان فازی به عنوان محتمل‌ترین تراوائی برای آن ترکیب از نمودارها در نظر گرفته می‌شود. گاهی هم تراوائی با استفاده از میانگین وزن‌دار دو قسمت محتمل‌تر تخمین زده می‌شود.



شکل۵- امکان فازی در قسمتهای مختلف تراوائی و تعیین قسمت تراوائی

مطالعه موردی

جهت تخمین تراوائی و رخساره‌های سنگی در این مخزن داده‌های آزمایشگاهی و توصیفی مغزه‌های ۴ چاه جهت تهیه مدل فازی مورد استفاده قرار گرفتند. متأسفانه چاههایی که مغزه‌گیری شده‌اند اغلب چاههای قدیمی می‌باشند و فاقد نمودارهای جدید پتروفیزیکی نظیر نمودار جذب فتوالکتریک (PEF) و اسپکتروسکوپی اشعه گامای طبیعی (NGS) می‌باشند از طرفی نمودارهای موجود که شامل نمودار اشعه گاما (GR)، نوترون (CNL)، دانسیته (FDC) نمودار صوتی (DT) و نمودارهای مقاومت الکتریکی می‌باشند به صورت دیجیتال در دسترس نبوده و با استفاده از اسکن تصاویر و رقومی نمودن آنها تهیه شده‌اند.

نمودارهای پتروفیزیکی موجود ابتدا جهت دخالت پارامترهای پتروفیزیکی نظیر تخلخل و حجم شیل درتخمین تراوائی مورد ارزیابی پتروفیزیکی قرار گرفتند. با انجام آنالیز حساسیت برروی داده‌های ورودی اهمیت نسبی داده‌ها جهت تخمین تراوائی مشخص شد. تخلخل، حجم شیل و مقاومت الکتریکی به عنوان مهمترین پارامترها جهت تخمین تراوائی تشخیص داده شدند.

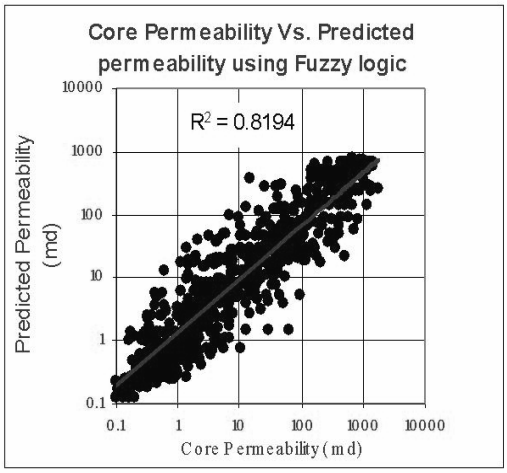
مدل فازی ابتدا در یکی از چاههای مخزن که دارای داده‌های آنالیز مغزه بود و داده‌های آن در ساخت مدل سهمی نداشت، آزمایش شد و پس از حصول اطمینان از کارآیی مدل جهت تخمین تراوائی در دیگر چاههای مخزن مورد استفاده قرار گرفت. تطابق بین تراوائی حاصل از

www.SID.ir

Archive of SID

آزمایش مغزه‌ها و تراوائی بدست آمده از منطق فازی در نمودار (شکل۶) ارائه شده است. ضریب همبستگی بین داده‌های تراوائی مغزه و تراوائی بدست آمده از منطق فازی معادل ۰/۸۱ می‌باشد که بیانگر موفقیت روش فازی در تخمین تراوائی با تطابق بالا می‌باشد

نتایج تخمین برای چاه فوق الذکرکه در تهیه مدل فازی شرکت نداشته است و برای یکی از چاههایی که از داده‌های آن در تهیه مدل فازی استفاده شده است به ترتیب درشکلهای ۷ و ۸ ارائه شده است. در ستون اول تخلخل مغزه با تخلخل بدست آمده از نمودارهای پتروفیزیکی باهم مقایسه شده‌اند. تراوائی مغزه با تراوائی بدست آمده از منطق فازی در ستون دوم و تراوائی مغزه با تراوائی حاصل از روابط تخلخل- تراوائی در ستون سوم با هم مقایسه شده‌اند. ستون ۴ رخساره‌های سنگی حاصل از ارزیابی‌های پتروفیزیکی را نشان می‌دهد.



شکل۶- مقایسه تراوائی مغزه و تراوائی بدست آمده از منطق فازی

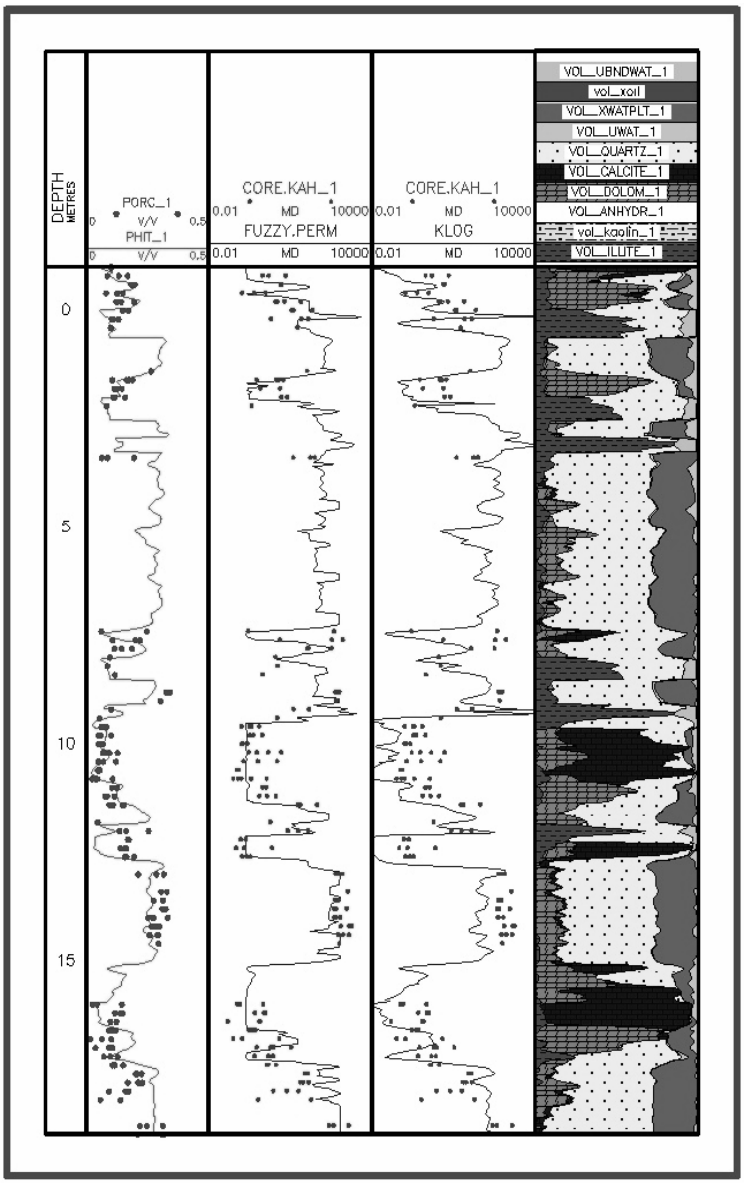
نتیجه‌گیری

تخمین تراوائی با استفاده از رگرسیونهای خطی یک یا چند متغیره در مخازن ناهمگون با موفقیت کمی همراه بوده است. در این مطالعه قابلیت روش منطق فازی در تخمین تراوائی سنگی مورد توجه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که منطق فازی در تشخیص الگوهای مربوط به تراوائی بسیار خوب عمل کرده است.

منطق فازی نیازمند هیچگونه مدل پیچیده ریاضی نمی‌باشد و قادر است با تعداد کمتر داده‌های موجود و با کمی کردن عدم قطعیت ناشی از ابهام و کمبود داده‌ها فرآیند تخمین را عملی سازد.

www.SID.ir

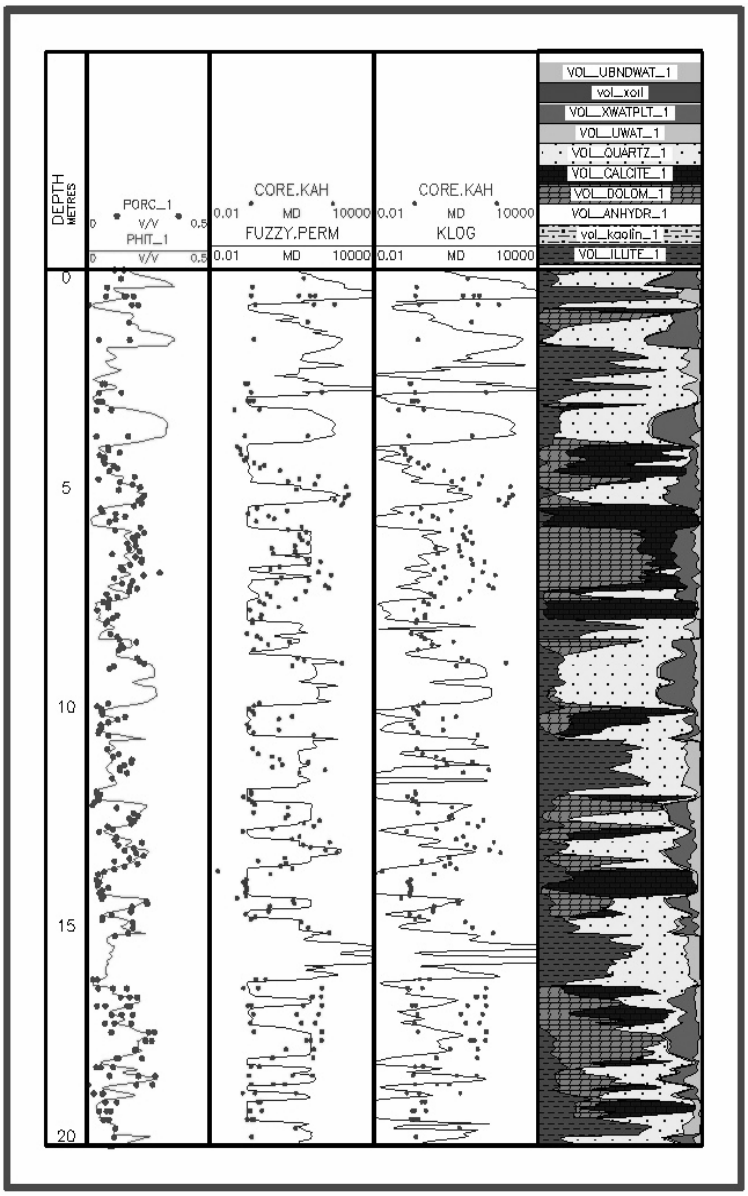
Archive of SID



شکل۷- مقایسه تراوائی حاصل از دو روش منطق فازی و رابطه تخلخل- تراوائی با مقادیر واقعی(مغزه) برای چاهی که داده‌های آن در تهیه مدل فازی شرکت نداشته است.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۸- مقایسه تراوائی حاصل از دو روش منطق فازی و رابطه تخلخل- تراوائی با مقادیر واقعی(مغزه) برای چاهی که داده‌های آن در تهیه مدل فازی شرکت داشته است.

www.SID.ir

Archive of SID

References

Cuddy, S.J. (2000), *Litho-Facies and Permeability Prediction from Electrical Logs Using Fuzzy Logic*, SPE Paper 65411.

Cuddy, S.J. (1997) *The Application of Fuzzy Logic to Petrophysics*, The 38 Annual Logging Symposium of the Society of Professional Well log analysts.

Brown, D.F, Cuddy S.J., Garmendia A.B. and McCall J.A.W (2000) *The Application of Fuzzy Logic and Genetic Algorithm to Reservoir Characterization and Modeling*, Third IASTED International Conference Artificial Intelligence and Soft Computing.

Matthews, J.C., Adrian, H. Clinton, B Ekstr J., and Mayer, G. (2000) *Belanak Field Development,: New Reserves from New Technology*, AAPG Bulletin, **84,** pp. 1461.

Fang, J.H., Chen, H.C. (April 1997) *Fuzzy Modeling and The Prediction of Porosity and Permeability from The Compositional and Textural Attributes of Sandstone*, Journal of Petroleum Geology, **20(2)**, 185-204.

Nancy Hambalek, Reinaldo Gozalez, (2003) *Fuzzy Logic Applied to Lithofacies and Permeability Forecasting*, SPE Paper 81078.

www.SID.ir