

مدل سازی تراوائی در مخازن ناهمگون با استفاده از منطق فازی

حسام آلوقی بختیاری

علی محمد باقری

پژوهشگاه صنعت نفت

e-mail: bakhtiarh@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.

مقدمه

تراوایی 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 چاه‌هایی که فاقد مغزه هستند تخمین تراوایی ضروری می‌باشد. برای تخمین تراوایی در یک چاه می‌توان از تلفیق اطلاعات تخلخل و تراوایی مغزه با اطلاعات زمین‌شناسی، گروه‌های سنگی را تعیین و در هر گروه از روابط موجود بین تخلخل و تراوایی به عنوان مدل تخمین تراوایی 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 تراوایی جهت تعیین مدل تراوایی 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 شده‌اند کودی (Cuddy, 1997) و هامبالک (Hambalek, 2003) از منطق فازی به منظور تخمین تراوایی 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 تراوایی در ماسه سنگ‌ها استفاده نموده و متیو و همکاران (Matthew et al, 2000) با استفاده از منطق فازی واحدهای جریان را در یک میدان نفتی شناسایی نمودند.

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

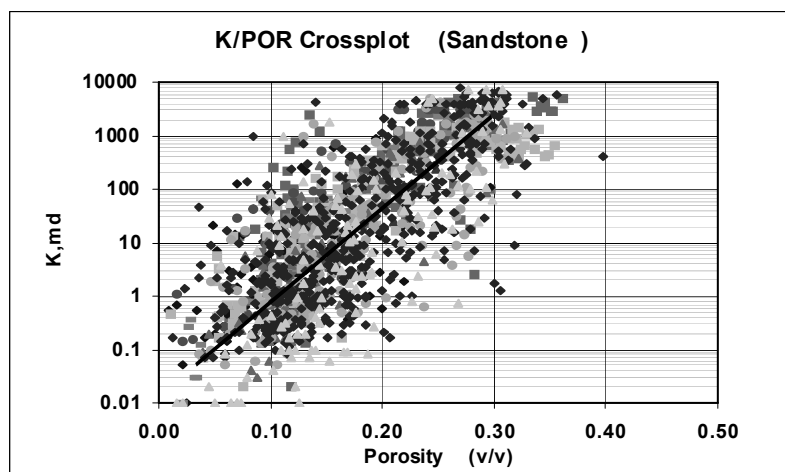
تخمین تراوایی با استفاده از رابطه تخلخل و تراوایی مغزه

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

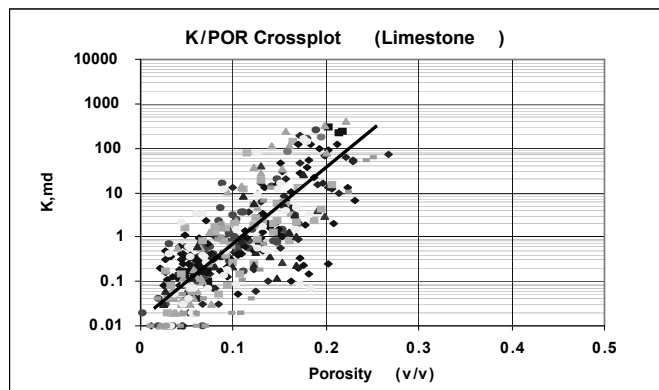
مورد مطالعه، داده های مغزه به سه رخساره سنگی آهکی، دولومیتی و ماسه سنگی تقسیم بندی شده و اطلاعات تخلخل و تراوایی مغزه های مربوط به هر رخساره سنگی در نمودارهای نیمه لگاریتمی تخلخل - تراوایی مشخص شده اند (شکل های ۱ تا ۳). با برازش بهترین خط بر داده های موجود در هر نمودار معادله ای به صورت کلی $K = 10^{a\Phi + b}$ جهت تخمین تراوایی به دست می آید. در زیر معادله تراوایی بر حسب تخلخل برای هر سه رخساره سنگی آهک، دولومیت و ماسه سنگ ارائه شده است.

$K = 10^{15.162\Phi - 1.731}$	$R^2 = 0.59$	آهک
$K = 10^{13.739\Phi - 1.524}$	$R^2 = 0.51$	دولومیت
$K = 10^{14.254\Phi - 1.178}$	$R^2 = 0.58$	ماسه سنگ :

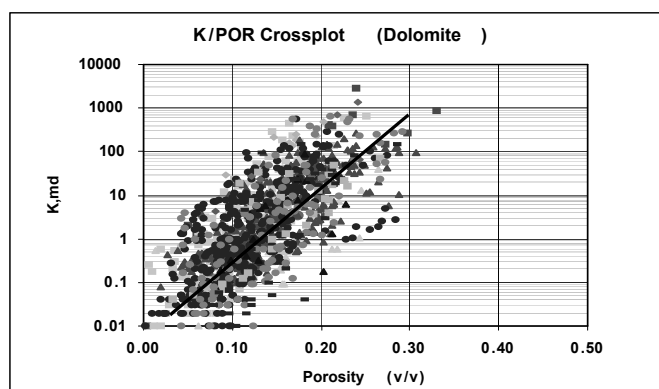
با توجه به پراکندگی نقاط در نمودارهای فوق میزان تراوایی تخمین زده شده توسط معادلات ذکر شده از دقت لازم برخوردار نبوده و می توان از روش های دیگری مانند منطق فازی جهت تخمین تراوایی استفاده نمود.



شکل ۱- نمودار نیمه لگاریتمی تخلخل - تراوایی برای ماسه سنگ (هر علامت مربوط به یک چاه است).



شکل ۲- نمودار نیمه لگاریتمی تخلخل- تراوانی برای آهک (هر علامت مربوط به یک چاه است).



شکل ۳- نمودار نیمه لگاریتمی تخلخل- تراوانی برای دولومیت (هر علامت مربوط به یک چاه است).

منطق فازی

منطق فازی در سال ۱۹۶۵ توسط پرفسور لطفی زاده استاد ایرانی الاصل دانشگاه برکلی کالیفرنیا 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).

منطق فازی 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

هر نمونه 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 می‌یابد که 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 در حالت 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، دوزنقه‌ای، 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 برآزش 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 تراوانی با استفاده از منطق فازی

اساسی‌ترین مبحث در تئوری فازی بحث تابع عضویت و چگونگی تعریف آن است. (شکل ۴) 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 حد اکثر فراوانی) و واریانس که نشان دهنده میزان پراکندگی داده‌هاست مشخص می‌شود.

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

با استفاده از تابع فوق می‌توان احتمال $P(x)$ 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 تراوایی مغزه‌ها به ده قسمت مساوی یا بیشتر با مقیاس لگاریتمی تقسیم می‌شوند. تعداد قسمت‌ها بستگی به تعداد داده‌های تراوایی 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.

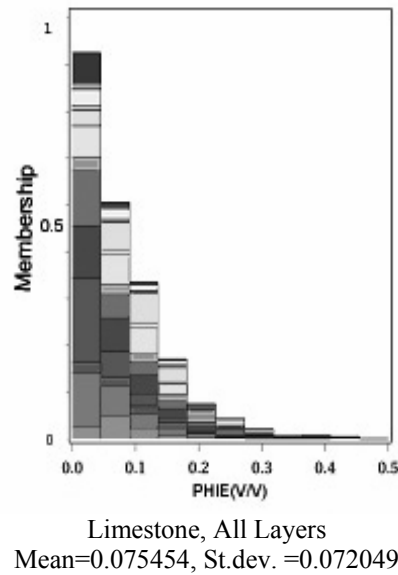
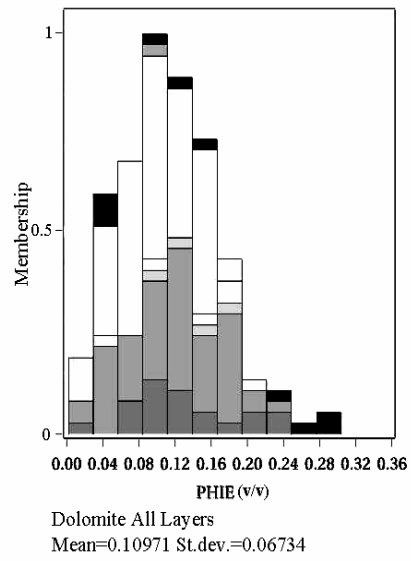
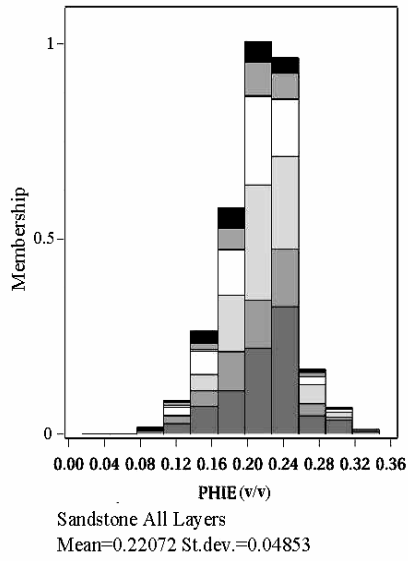
اگر یک قسمت دارای تابع توزیع تخریل با میانگین μ و انحراف معیار σ باشد، امکان فازی که یک میزان تخریل در این قسمت اندازه‌گیری شود از رابطه (۱) بدست می‌آید. از آنجا که تراوایی به بیش از ده قسمت تقسیم شده است یک میزان تخریل می‌تواند به هر یک از قسمت‌ها نسبت داده شود اما امکان وابستگی آن به بعضی از قسمت‌ها نسبت به بقیه نزدیکتر است. توزیع تخریل 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.

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

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

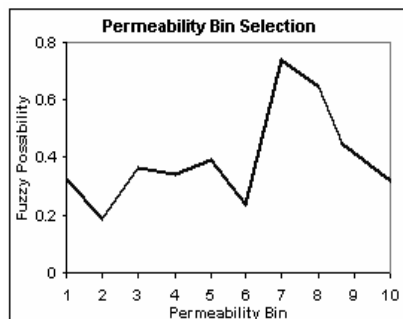
$$R(x_R) = e^{-(x-\mu_R)^2/2\sigma_R^2} \quad (3)$$

با دانستن میانگین و انحراف معیار هر قسمت امکان فازی اینکه یک نقطه می‌تواند در آن 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 تراوایی مورد استفاده قرار می‌گیرد (Cuddy, 2000).



شکل ۴- رسم توزیع فراوانی تعیین نوع تابع عضویت با استفاده از نرمالایز کردن توزیع داده‌های تخلخل در ماسه‌سنگ، دولومیت و آهک لایه‌های مختلف مخزن (رنگ‌بندی نمودار انواع لایه‌های مخزن را مشخص می‌کند).

شکل ۵ نتایج این آنالیز را برای هر یک از قسمت‌های تراوایی نشان می‌دهد. هر قسمت دارای امکان فازی مختص خود می‌باشد. بالاترین امکان فازی به عنوان محتمل‌ترین تراوایی برای آن ترکیب از نمودارها در نظر گرفته می‌شود. گاهی هم تراوایی با استفاده از میانگین وزن دار دو قسمت محتمل‌تر تخمین زده می‌شود.



شکل ۵- امکان فازی در قسمت‌های مختلف تراوایی و تعیین قسمت تراوایی

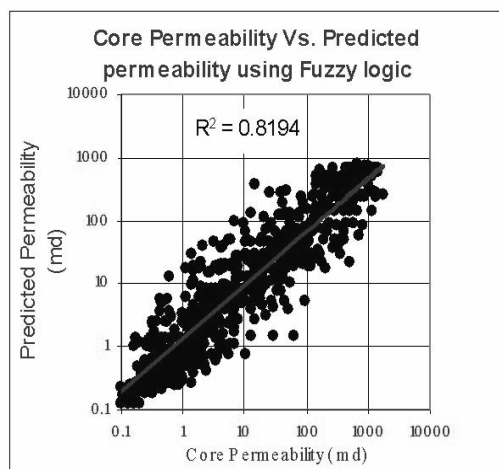
مطالعه موردی

جهت تخمین تراوایی 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 دیجیتالی 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 در تخمین تراوایی مورد ارزیابی پتروفیزیکی قرار گرفتند. با انجام آنالیز حساسیت بر روی داده‌های ورودی اهمیت نسبی داده‌ها جهت تخمین تراوایی مشخص شد. تخلخل، حجم شیل و مقاومت الکتریکی به عنوان مهمترین پارامترها جهت تخمین تراوایی 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 کارایی مدل جهت تخمین تراوایی در دیگر چاههای مخزن مورد استفاده قرار گرفت. تطابق بین تراوایی حاصل از

آزمایش مغزه‌ها و تراوایی بدست آمده از منطق فازی در نمودار (شکل ۶) ارائه شده است. ضریب همبستگی بین داده‌های تراوایی مغزه و تراوایی بدست آمده از منطق فازی معادل ۰/۸۱ می‌باشد که بیانگر موفقیت روش فازی در تخمین تراوایی با تطابق بالا می‌باشد. نتایج تخمین برای چاه فوق الذکر که 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 در شکل‌های ۷ و ۸ ارائه شده است. در ستون اول تخلخل مغزه با تخلخل بدست آمده از نمودارهای پتروفیزیکی با هم مقایسه شده‌اند. تراوایی مغزه با تراوایی بدست آمده از منطق فازی در ستون دوم و تراوایی مغزه با تراوایی حاصل از روابط تخلخل - تراوایی در ستون سوم با هم مقایسه شده‌اند. ستون ۴ رخصاره‌های سنگی حاصل از ارزیابی‌های پتروفیزیکی را نشان می‌دهد.

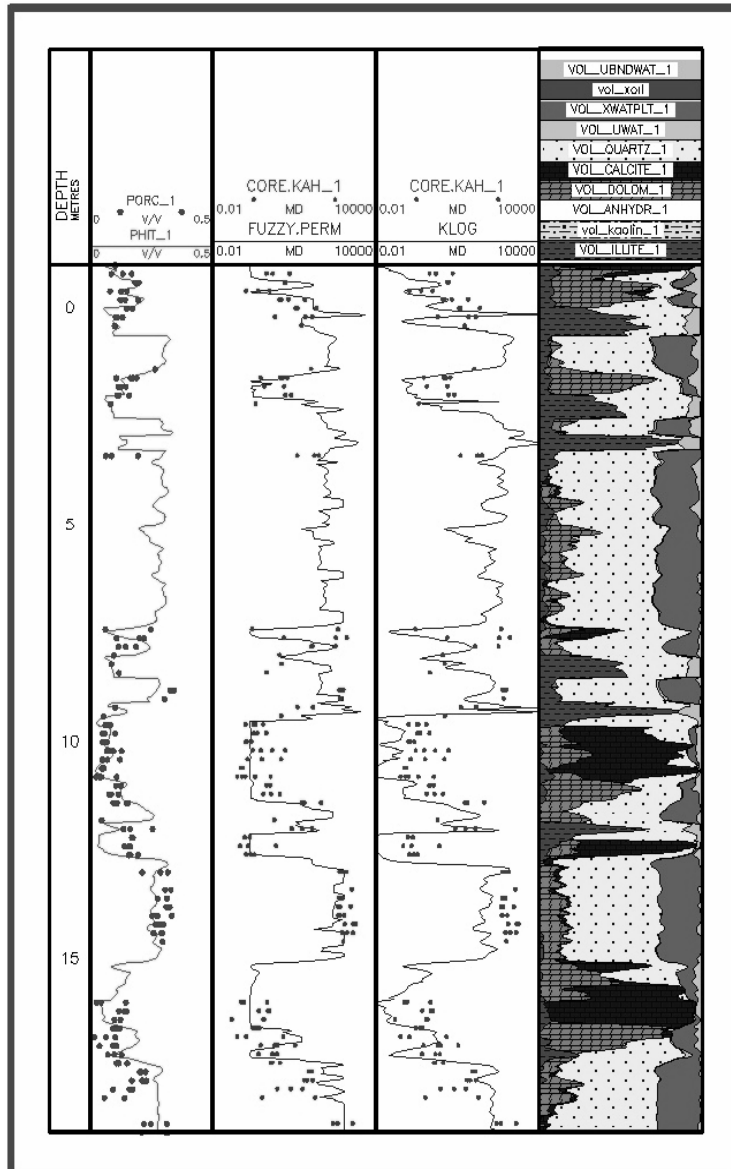


شکل ۶- مقایسه تراوایی مغزه و تراوایی بدست آمده از منطق فازی

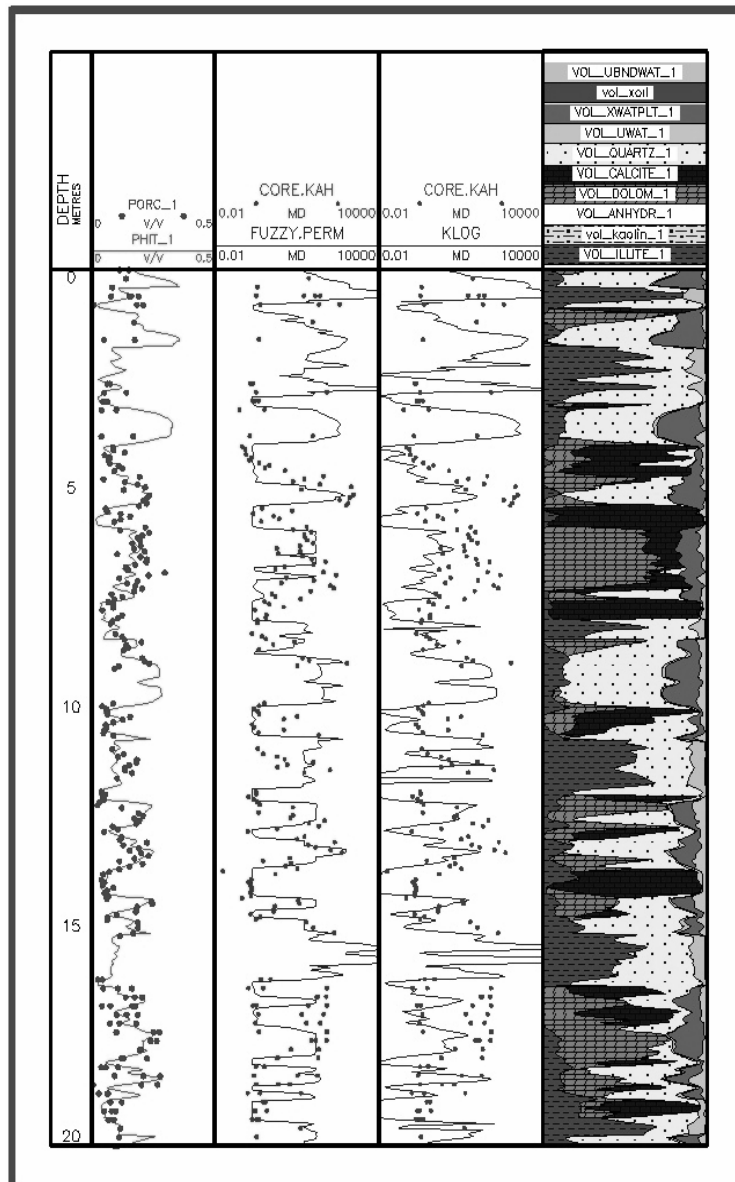
نتیجه‌گیری

تخمین تراوایی 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 تراوایی سنگی مورد توجه قرار گرفته است. نتایج نشان می‌دهد که منطق فازی در تشخیص الگوهای مربوط به تراوایی 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.



شکل ۷- مقایسه تراوانی حاصل از دو روش منطق فازی و رابطه تخلخل - تراوانی با مقادیر واقعی (مغزه) برای چاهی که داده‌های آن در تهیه مدل فازی شرکت نداشته است.



شکل ۸- مقایسه تراوانی حاصل از دو روش منطق فازی و رابطه تخلخل - تراوانی با مقادیر واقعی (مغزه) برای چاهی که داده‌های آن در تهیه مدل فازی شرکت داشته است.

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.