روشهای غیر مستقیم تعیین نفوذپذیری مخزن- مورد مطالعاتی میدان گازی پارس جنوبی

رضا روکی[۱]، علی مرادزاده[۲]، فرامرز دولتی ارده جانی[۲] و ماشاال رحیمی[۳]

[۱] کارشناسی ارشد اکتشاف معدن دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
[۲] دانشیار دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران
[۳] کارشناسی ارشد اکتشاف نفت، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ، تهران، ایران

چکیده

نفوذپذیری یکی از پارامترهای پتروفیزیکی مهم مخازن نفتی است که در تخمین ذخیره، تولید و توسعه مخازن نفتی از جایگاه خاصی برخوردار می باشد. در صنعت نفت معمولاً روش متداول برای تعیین نفوذپذیری، آنالیز مغزه و آزمایش چاه می باشد. این روشها بسیار گران هستند، از طرفی همه چاههای یک میدان دارای مغزه نمی‌باشند. در نتیجه روش یا روش‌هایی که بتواند با استفاده از نگارهای چاه پیمایی خواص پتروفیزیکی مخزن از جمله نفوذپذیری را ارائه دهند، اهمیت زیادی خواهند داشت، زیرا در تمام چاههای یک میدان معمولا نگارهای چاه موجود هستند. به همین جهت در ادامه سه روش تجربی، رگرسیون خطی چند متغیره و شبکه عصبی مصنوعی که به نظر می‌رسد از قابلیت خوبی برای پیش‌بینی نفوذپذیری از طریق نگارهای چاه برخوردار باشند، توضیح داده می‌شوند. نتایج حاصل از دو روش شبکه عصبی و رگرسیون خطی چند متغیره در این مطالعه برای پیش‌بینی نفوذپذیری میدان گازی پارس جنوبی مبین قابلیت بالای شبکه عصبی در تخمین است.

Abstract

The permeability is a main property of oil reservoirs that it is applied for reserve estimation, production and development of oil reservoirs. The conventional methods for permeability determination are core analysis and well test. These methods are however very expensive. Furthermore, one or more well in an oil field may have no core samples. So, there is a need to use a method could appropriately measure the petro-physical properties of reservoir using available well logs. This study discusses three different approaches for permeability determination from logs. These are empirical, statistical, and artificial neural network methods. The results obtained from this investigation show that the artificial neural network method is superior to MLR method to predict reservoir permeability.

مقدمه

نفوذپذیری ماهیتی از متوسط خلل و فرج است که ظرفیت یک ماده برای انتقال سیالات را نشان می دهد. برای یک مهندس نفت، تخمین صحیح نفوذپذیری امری ضروری است زیرا نفوذپذیری یک پارامتر کلیدی است که استراتژی های تکمیل، تولید چاه و مدیریت مخزن را کنترل می‌کند. معمولاً از آنالیز مغزه برای تعیین نفوذپذیری استفاده می‌شود. کازنی (۱۹۲۷) و آرچی (۱۹۴۱) از اولین کسانی بودند که نفوذپذیری را بر اساس اندازه‌گیری های الکتریکی بر روی نمونه‌های مغزه، تعیین کردند. گاهی اوقات داده‌های نفوذپذیری بر اساس مغزه به علت یک سری مسائل از قبیل شرایط چاه یا هزینه بالای مغزه‌گیری موجود نمی‌باشند. به همین دلایل تلاشهای چندین ساله‌ای برای تخمین نفوذپذیری توسط روشهای گوناگون صورت گرفته است. یکی از منابع ارزان و ساده برای تعیین نفوذپذیری نگارهای چاه می‌باشد. روشهای تجربی یک سری خط مشی‌هایی را برای انتخاب متغیرهای مستقل فراهم می‌کنند که برای پیش‌بینی استفاده می‌شوند. روش شبکه عصبی مصنوعی نیز یکی از روش‌های توانا در پیش‌بینی نفوذپذیری از طریق نگارهای چاه در دهه‌های اخیر می‌باشد. در این مطالعه ابتدا سه روش غیرمستقیم تعیین نفوذپذیری معرفی و سپس با استفاده از داده‌های مغزه و همچنین نگارهای مختلف سه چاه میدان پارس جنوبی به ارزیابی دو روش رگرسیون خطی چند متغیره و شبکه عصبی مصنوعی در تخمین نفوذپذیری دو سازند کنگان و دالان پرداخته شده است.

Archive of SID

www.SID.ir

روش های تجربی

بررسی نتایج مولفین مختلف در این زمینه نشان می‌دهد که هیچ گونه روش مستقیمی برای تعیین نفوذپذیری با استفاده از نگارهای چاه موجود نمی‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که نفوذپذیری حاصل از نگارهای چاه با توجه به خواصی از سنگ می‌باشد که در ارتباط با نفوذپذیری هستند. این خواص شامل تخلخل، اشباع آب، فشار موئینگی، ضریب مقاومت سازند و اخیراً استفاده از پارامترهای T_1 و T_2 مربوط به نگار NMR می‌باشند. از کارهای اصلی انجام شده در این زمینه می‌توان به کارهای کازنی(۱۹۲۷)، آرچی (۱۹۴۲)، تیکسیر (۱۹۴۹)، وایلی و رز (۱۹۵۰)، شفیلد (۱۹۵۶)، رابطه پیرسون (۱۹۶۳)، تیمور (۱۹۶۸)، کواتس و دومانویر (۱۹۷۴)، سیملبک و همکارانش (۱۹۹۵)، سیورز (۱۹۶۶) و کنیون (۱۹۹۸) اشاره نمود.

روش رگرسیون خطی چند متغیره(MLR)

مهندسین نفت معمولاً آنالیز رگرسیونی را به عنوان ابزار اصلی برای ارتباط دادن پارامترهایی مانند تخلخل و تراوایی استفاده می‌کنند. روش رگرسیون از آمار برای پیش‌بینی متوسط شرطی یا امید ریاضی تراوایی استفاده می‌کند. روش رگرسیون خطی چند متغیره ارتباط بین یک سری متغیرهای مستقل با یک متغیر وابسته می‌باشد که می‌توان این ارتباط را به صورت زیر نشان داد:

$$y = \beta_1 + \beta_2 x_2 + ... + \beta_n x_n + e \qquad (1)$$

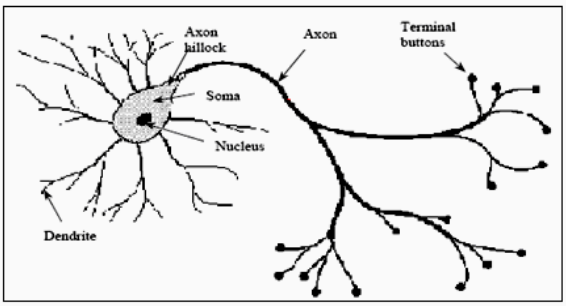
در معادله فوق، βها، ضرایب رگرسیون که نامشخص هستند، x ها متغیرهای مستقل و y متغیر وابسته و e خطای تصادفی است. معمولاً برای تخمین نفوذپذیری با این روش متغیرهای مستقل را نگارهای چاه و متغیر وابسته را لگاریتم نفوذپذیری در نظر می‌گیرند. پارامترهای رگرسیونی را می توان از طریق کمترین مربعات بدست آورد. به هر حال بین نقاط مشاهده‌ای و خط رگرسیون برازش شده تفاوت هایی وجود دارد، که به مقدار باقی مانده معروف است. مقادیر کمتر باقی مانده، نشان دهنده پیش‌بینی بهتر می‌باشد. به عنوان مثال اگر هیچ گونه رابطه‌ای بین متغیر وابسته و مستقل وجود نداشته باشد، واریانس برابر ۱ و اگر دو متغیر کاملاً به هم وابسته باشند، واریانس برابر صفر خواهد بود. در اغلب موارد این همبستگی را با ضریب تعیین(R^2) نشان می‌دهند که مقداری بین ۰ و ۱ است. برای محاسبه ضرایب متغیرهای مستقل و ضریب تعیین نرم افزارهای آماری از قبیل SPSS، Excel و Minitab برای سادگی محاسبات موجود می‌باشند.

روش شبکه عصبی مصنوعی

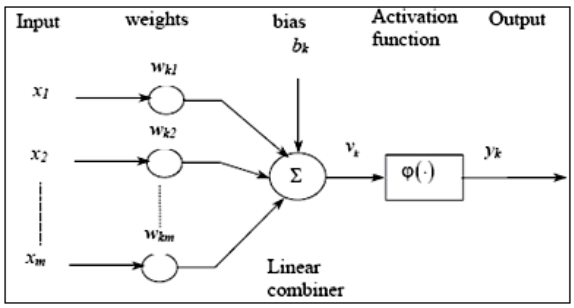
شبکه عصبی مصنوعی برنامه محاسباتی بر اساس ساختار سیستم طبیعی بیولوژیکی است. هر نرون در مغز شامل سه جزء می‌باشد: دندریت، بدنه سلول یا سوما و اکسون (شکل۱). دندریتها قسمت حساس نرون می‌باشند که سیگنال را از دیگر قسمت های نرون دریافت می‌کنند. سوما سیگنال ها را جمع و محاسبه می‌کند و از طریق اکسون به دیگر سلول ها می‌فرستد. نرون بیولوژیکی اطلاعات را حمل و به نرون دیگر در یک شبکه زنجیره‌ای انتقال می‌دهد. نرون مصنوعی نیز از توابع سه جزء نرون بیولوژیکی و روش منحصر به فرد آنها در یادگیری پیروی می‌کند. روش یادگیری در یک شبکه عصبی مصنوعی شبیه به روشی است که در مغز انسان انجام می شود. هر نرون ساده شامل یک لایه ورودی, لایه میانی یا تابع فعال ساز و لایه خروجی می‌باشد. لایه ورودی سیگنال ها را از محیط خارج(یا دیگر نرون ها) دریافت می‌کند. تابع فعال ساز یک نرون داخلی می‌باشد که سیگنال های ورودی را محاسبه و جمع می‌کند، این سیگنال ها به لایه خروجی منتقل یافته و دوباره مخابره می‌گردند (شکل۲). برای تخمین نفوذپذیری با استفاده از شبکه عصبی، نگارهای چاه به عنوان ورودی و نفوذپذیری به عنوان خروجی برای طراحی شبکه در نظر گرفته می‌شوند. مطالعات زیادی در زمینه کاربرد شبکه‌های عصبی در صنعت نفت و گاز انجام شده است که همگی آنها قابلیت بالای این روش را نشان می‌دهند.

Archive of SID

www.SID.ir



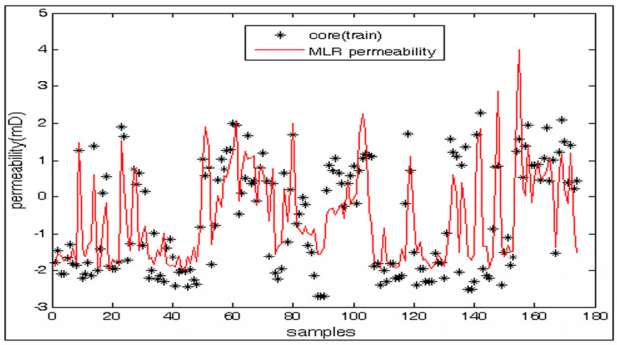
شکل۱. طرح یک نرون بیولوژیکی.



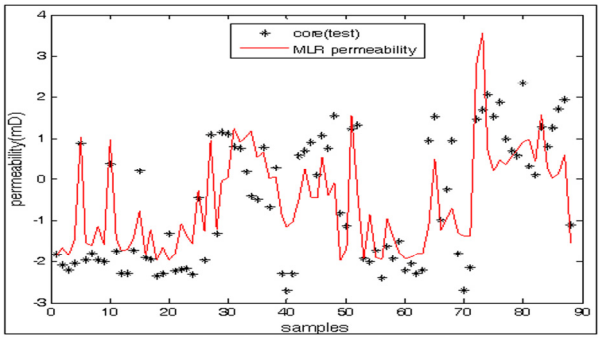
شکل۲. ساختار نرون ساده مصنوعی.

نتایج حاصل از تخمین نفوذپذیری با استفاده از دو روش رگرسیون خطی چند متغیره و شبکه عصبی مصنوعی در میدان پارس جنوبی

در این مطالعه برای تعیین ضرایب مجهول رابطه رگرسیون خطی چند متغیره از نرم افزار SPSS استفاده گردید. برای تخمین رابطه خطی، از تعداد ۲۶۵ داده موجود، ۱۷۴ داده به طور تصادفی انتخاب گردید و از بقیه داده‌ها برای تست استفاده گردید. بعداً همین داده‌ها در مورد شبکه عصبی نیز بکار گرفته شد. برای تعیین رابطه رگرسیونی بین ورودی ها و لگاریتم نفوذپذیری، سه مدل (با ورودی های متفاوت) بر داده‌ها برازش گردیدند. سه مدل تقریباً برازش یکسانی برای تخمین نفوذپذیری داشتند که این امر حاکی از همبستگی زیاد سه متغیر اصلی با نفوذپذیری است. برای داده‌های تست نیز با سه مدل رگرسیونی نتایج مشابهی با R^2=0.66 حاصل گردید. ضرایب مجهول هر کدام از متغیرهای مستقل با ورودی های مختلف در جدول (۱) آمده است و در شکل‌های (۳) و (۴) لگاریتم نفوذپذیری(افقی) روش رگرسیون چند متغیره در مقابل لگاریتم نفوذپذیری مغزه با سه ورودی (مدل ۱) مقایسه شده است. برای طراحی شبکه عصبی مصنوعی پس انتشار خطا نیز از داده‌های مربوط به قسمت رگرسیون خطی استفاده شد که در نهایت مشخصات شبکه بهینه که به صورت سعی و خطا تعیین گردید در جدول ۲ آورده شده است. مقایسه بین منحنی لگاریتم نفوذپذیری شبکه با لگاریتم نفوذپذیری مغزه با ضریب همبستگی حدود ۹۲ درصد برای داده‌های تست و حدود ۹۵ درصد برای داده‌های آموزش در شکل‌های (۵) و (۶) آمده است. در جدول ۳ ضریب همبستگی(R) وجذر میانگین مربعات خطا (RMS) بین لگاریتم و لگاریتم نفوذپذیری حاصل از دو روش با هم مقایسه شده است.



شکل۳. لگاریتم نفوذپذیری افقی حاصل از رگرسیون خطی چند متغیره با سه متغیر مستقل در مقابل لگاریتم نفوذپذیری مغزه در داده‌های تخمین معادله



شکل۴. لگاریتم نفوذپذیری افقی حاصل از رگرسیون خطی چند متغیره با سه متغیر مستقل در مقابل لگاریتم نفوذپذیری مغزه در داده‌های تست

Archive of SID

www.SID.ir

جدول ۱. ضرایب مجهول هر کدام از متغیرهای مستقل در سه مدل رگرسیونی برازش شده

Model	Variables	B
1	(Constant) DT RHOB NPHI	۰/۳۶۷ ۰/۰۱۹۴۷ −۱/۱۲۶ ۰/۱۷۹
2	(Constant) DT RHOB NPHI MSFL	۰/۱۲۳ ۰/۰۲۰۷۵ −۱/۰۵۷ ۰/۱۷۸ −۰/۰۰۰۰۵۶۷۸
3	(Constant) DT RHOB NPHI MSFL Z PEF	۰/۸۱۱ ۰/۰۱۵۰۵ −۱/۴۷۴ ۰/۱۷۲ −۰/۰۰۰۰۵۸۱۱ ۰/۰۰۰۳۷۲۷ −۰/۰۵۱۵۳
Dependent Variable: Log (KH) B. Coefficients		

جدول۲. مشخصات شبکه پس انتشار طراحی شده.

نرون لایه خروجی و تابع فعال ساز آن	تعداد نرونهای لایه میانی دوم و تابع فعال ساز آنها	تعداد نرونهای لایه میانی اول و تابع فعال ساز آنها	نرونهای لایه ورودی
Log(KH) و تابع فعال ساز خطی	۵ نرون و تابع فعال ساز تانژانت هیپربولیک	۸ نرون و تابع فعال ساز تانژانت هیپربولیک	X, Y, Z, DT, NPHI, RHOB

جدول ۳. مقایسه ضریب همبستگی (R) وجذر میانگین مربعات خطا (RMS) حاصل از دو روش در مرحله آموزش و تست.

روش	R آموزش	R تست	RMS آموزش	RMS تست
شبکه عصبی پس انتشار خطا	۰/۹۵۶	۰/۹۲	۰/۴۵۶	۰/۶۲۳
رگرسیون خطی چند متغیره	۰/۸۴۵	۰/۸۱۲	۰/۷۸۶۵	۰/۸۸۸

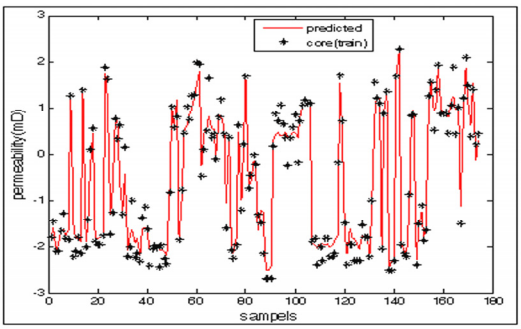
نتیجه‌گیری

نفوذپذیری سازند در نزدیکی گمانه در یک زمان به خصوص بستگی به جریان سیال، ساختمان کیک گل، نفوذپذیری نسبی فازهای گوناگون موجود دارد. در نتیجه هر تلاشی برای بدست آوردن نفوذپذیری از نگارهای چاه با نقصان مواجه خواهد شد. از روش های تجربی می‌توان برای یک دید اولیه بین پارامترهای مستقل و نفوذپذیری استفاده نمود. دسترسی به نتایج مطلوب‌تر و صحیح‌تر در روش رگرسیون چند متغیره نیز، نیازمند داشتن تعداد نمونه‌های فراوان و در عین حال صحیح می‌باشد زیرا این روش ها در مقابل اطلاعات نادرست، دارای حساسیت بالایی می‌باشند. با توجه به خطای کمتر و ضریب همبستگی بیشتر نتیجه شده توسط شبکه عصبی می توان نتیجه گرفت که استفاده از این روش برای پیش‌بینی نفوذپذیری از طریق نگارهای چاه دارای مزایای بیشتری نسبت به روش رگرسیون خطی چند

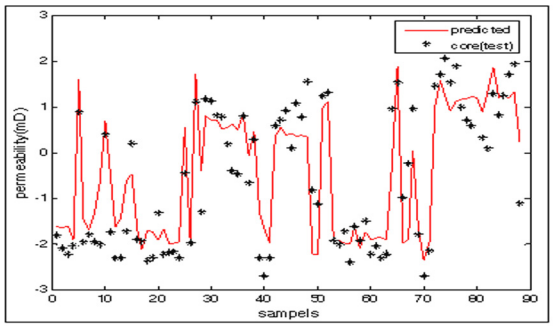
Archive of SID

www.SID.ir

متغیره و روش‌های تجربی است، زیرا در روش شبکه عصبی دانستن مدل ریاضی مساله ضروری نمی‌باشد. مساله مهم در این روش، انتخاب مناسب الگوهای آموزشی، آماده سازی داده‌ها و تنظیم پارامترهای شبکه می‌باشد.



شکل۵. مقایسه بین منحنی لگاریتم نفوذپذیری شبکه با لگاریتم نفوذپذیری مغزه در داده‌های آموزش.



شکل۶. مقایسه بین منحنی لگاریتم نفوذپذیری شبکه با لگاریتم نفوذپذیری مغزه در داده‌های تست.

Archive of SID

منابع

جلالی لیچائی،م، بیدهندی،م، میرزائی، س، ۱۳۸۳، "تخمین تخلخل و نفوذپذیری میدان نفتی گچساران. با استفاده از تکنیک شبکه عصبی"، کنفرانس مهندسی معدن، دانشگاه تربیت مدرس،ص۱۹۷۹-۱۹۹۴.

حبیبیان،ب، بیدهندی،م، کاظم زاده،ع، ۱۳۸۴، "پیش بینی نفوذپذیری از روی داده‌های چاه‌نگاری با استفاده از شبکه‌های عصبی مصنوعی در یکی از مخازن کربناته جنوب ایران"، مجلهٔ فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۱،شماره ۱، ص۷۹-۸۶

روکی، ر،۱۳۸۶،"تخمین نفوذپذیری از روی نگارهای چاه با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی در یکی از میادین نفتی خلیج فارس"، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده معدن و ژئوفیزیک.

مرادزاده، ع، بخشی ،ا، ۱۳۸۵، "شبیه سازی نگار فوتوالکتریک سازندهای نفتی به کمک شبکه های عصبی مصنوعی"،مجلهٔ فیزیک زمین و فضا، جلد ۳۲، شماره ۳، ص۱-۲۰.

Ali, M., and Chawathe,A., 1999, "Using artificial intelligence to predict permeability from petrographic data", Computers & Geosciences,Vol. 26 ,P.915-925.

Balan, B., Mohaghegh, S., and Ameri, S., 1995, "State-Of-The-Art in Permeability Determination From Well Log Data"; Part 1- A Comparative Study, Model Development, SPE 30978, SPE Eastern Regional Conference and Exhibition, Morgantown, West Virginia University.

Bhatt, A., 2002,"Reservoir properties from well logs using neural networks", A dissertation for the partial fulfillment of requirements for the degree of PhD at the Department of Petroleum Engineering and Applied Geophysics, Norwegian University of Science and Technology.

Chen,C., and Lin, Z.,2005, "A committee machine with empirical formulas for permeability prediction", Elsevier Science Publications, Vol.32, P.485–496.

Kumar, N., Hughes, N., and Scott, M., 2000, "using well logs to infer permeability", Center for Applied Petrophysical Studies, Texas Tech University.

Lim, J.,2005, "Reservoir properties determination using fuzzy logic and neural networks from well data in offshore Korea", Journal of Petroleum Science and Engineering, Vol.49, P.182-192.

Mohaghegh, S., Arefi, R., Ameri, S., and Rose, D,. 1995, "Design and Development of an Artificial Neural Network for Estimation of Formation Permeability," SPE 28237, Proceedings, SPE Computer Conference, Dallas, Texas, P.151-154.

Pereira,J.,2004, "permeability prediction from well log data using multiple regression analysis ", M.Sc. Thesis. West Virginia.

Poulton, M.M., 2002, "Neural networks as an intelligence amplification tool": A review of applications, Geophysics, Vol.67(3), P.979-993.

www.SID.ir

Rolon, L., 2004, "Developing Intelligent Synthetic Logs: Application to Upper Devonian Units in PA", M.Sc thesis, Morgantown, West Virginia University.
www.intelligentsolutionsinc.com

Archive of SID

www.SID.ir