

## استفاده از ماشین بردار پشتیبان بر پایه تابع شعاعی برای تخمین نفوذپذیری سنگ مخزن

مجید باقری<sup>۱\*</sup> و هادی رضایی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>استادیار گروه فیزیک زمین، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران [majidbagheri@ut.ac.ir](mailto:majidbagheri@ut.ac.ir)

<sup>۲</sup>دانش آموخته کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

### چکیده

یکی از خصوصیات بسیار مهم سنگ مخزن نفوذپذیری است. این پارامتر نقشی اساسی در ارزیابی نرخ تولید مخزن، عملکرد میدین و مدیریت و توسعه مخزن ایفا می کند. در واقع این خاصیت بیانگر توانایی عبور سیال از محیط متخلخل است بدون آنکه در ساختمان سنگ تغییری ایجاد شود یا اینکه سیال جایگزین بخشهایی از آن گردد. نفوذپذیری عمدتاً از طریق اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی از روی مغزه یا داده‌های چاه‌آزمایی به دست می‌آید. با این حال، به دلیل هزینه زیاد و فراوانی کم این نوع از داده‌ها، پیش‌بینی نفوذپذیری با استفاده از داده‌های چاه‌نگاری از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. نفوذپذیری با استفاده از یک مدل رگرسیونی تحت عنوان ماشین بردار پشتیبان با استفاده از تابع پایه شعاعی به کمک داده‌های چهار چاه در میدان مذکور محاسبه شده است. ضریب همبستگی بین مقادیر نفوذپذیری واقعی و مقادیر تخمین زده شده برای هر کدام از رخساره‌های الکتریکی در محل چاه شماره چهار محاسبه شد. مقادیر بالای بدست آمده برای ضریب همبستگی توانایی و دقت زیاد روش مورد استفاده برای تخمین نفوذپذیری را تایید کرد.

**واژه‌های کلیدی:** نفوذپذیری، داده‌های چاه‌نگاری، ماشین بردار پشتیبان، تابع پایه شعاعی، ضریب همبستگی.

## Using support vector machine (SVM) based on radial basic function for permeability prediction of reservoir rock

Bagheri, M<sup>\*1</sup>, Rezaei, H<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup> Institute of Geophysics, University of Tehran, PO Box 14115-6466, Tehran, Iran

Email: [majidbagheri@ut.ac.ir](mailto:majidbagheri@ut.ac.ir), [h.rezaei72@yahoo.com](mailto:h.rezaei72@yahoo.com)

### Abstract

Permeability is one of the most important hydrocarbon reservoir's characters. This parameter plays a fundamental role in assessing the production rate of a reservoir, field performance, and reservoir management and development. In fact, this property indicates the ability to pass fluid from the porous medium without changing the structure of the building or replacing it with parts of it. Permeability is mainly obtained through laboratory measurements on the core or well data. However, because of the high cost and low frequency of this type of data, using of well logging data has a particular importance in permeability prediction. In the following, permeability was calculated using a regression model called support vector machine based on radial basic function using data from four wells in the aforementioned field. To enhance the model's generalizability, the data of three wells was used to train the regression model whereas well number four was hidden and also was used to evaluate the efficiency and accuracy of the model. To do that, the correlation coefficient was calculated between the actual and estimated permeability values for each electro-facies in well number four. High values of correlation coefficient confirmed the ability and accuracy of the proposed method for permeability prediction.

**Key words:** Permeability, Well logs, Support vector machine, Radial basic function, Correlation coefficient.

### ۱ مقدمه

یکی از موضوعات کلیدی در ارزیابی مخازن، استفاده از داده‌های چاه‌نگارها برای پیش‌بینی خواص پتروفیزیکی، مانند نفوذپذیری سنگ مخزن است. هرچند اطلاعات مغزه که از تجزیه و تحلیل‌های آزمایشگاهی به دست می‌آیند از دقت بالایی برخوردار هستند، اما این تحلیلها پرهزینه و زمانبر بوده و داده‌های آنها برای اکثر چاهها در دسترس نیستند. در صنعت نفت و گاز به‌منظور مدلسازی، شبیه‌سازی و طراحی روشهای ازدیاد برداشت از مشخصات مخزنهمانند نفوذپذیری و تخلخل استفاده میکنند و از اینرو از بزرگترین چالشهای مهندسان مخزن تعیین

اینمؤلفهها در سنگ مخزن است (محقق و همکاران، ۱۹۹۶). معمولاً نفوذپذیری را از نمودارهای چاه، با استفاده از روابط تجربی یا از رگرسیونهای آماری (مؤلفه‌های وغیرمؤلفه‌های) تخمین میزنند. با این حال، مدل‌های تجربی در مناطقی که دارای محیطهای مختلف رسوبی هستند، بدون اعمال تصحیحات مقادیر ثابت و توانها قابل استفاده نیستند (لی و گوپتا، ۱۹۹۹). به طور کلی، نمودارهای چاه، اطلاعات ارزشمند اما غیرمستقیم درباره کانیشناسی، بافت، ساختار رسوبی، محتوای سیال و خواص هیدرولیکی مخزن ارائه می دهند. پاسخهای مشخص نمودارها از سازند میتوانند نشان دهند رخساره های الکتریکی باشند که اغلب بارخساره های سنگی همبستگی دارند. از طرفی در سالهای اخیر روشهای رگرسیون غیرمؤلفه‌های، همانند ماشین بردار پشتیبان برای غلبه بر محدودیتهای رایج در رگرسیون چندگانه معرفی شده‌اند. در این مطالعه پس از خوشه سازی داده های چاه نگاری به کمک روش خوشه بندی چند تفکیکی بر پایه گراف یا MRGC (Multi-resolution Graph-based Clustering) و بدست آوردن رخساره های الکتریکی، نفوذپذیری در هر رخساره با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان بر پایه تابع شعاعی محاسبه شده و در نهایت این نفوذپذیری با نفوذپذیری بدست آمده از مغزه مقایسه شده است.

## ۲ روش تحقیق: رگرسیون بردار پشتیبان

فرض کنیم یک مجموعه داده آموزشی به صورت  $\{(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)\} \in \mathcal{C} \times \mathcal{R}$  داده شده باشد، در جایی که  $\mathcal{C}$  اشاره به فضای داده های ورودی دارد ( $\mathcal{C} = \mathcal{R}^d$ ). در روش رگرسیون بردار پشتیبان که در سال ۱۹۹۷ توسط واپنیک و همکارانش ارائه شد، هدف یافتن تابع  $f(x)$  است بطوریکه این تابع برای هر نقطه آموزشی حداکثر مقدار انحراف  $\mathcal{E}$  را از مقدار واقعی  $y_i$  بدست دهد و به طور همزمان تا حد ممکن یکنواخ باشد. به عبارت دیگر خطاهای کمتر از  $\mathcal{E}$  در این حالت نادیده گرفته شده ولی خطاهای بزرگتر از این مقدار پذیرفته نخواهند شد. تابع  $f(x)$  فرم خطی استاندارد به شکل رابطه ۱ است:

$$f(x) = \langle w, x \rangle + b; w \in \mathcal{C}, b \in \mathcal{R} \quad (1)$$

(.) اشاره به ضرب داخلی در فضای  $\mathcal{C}$  دارد. یکنواخت بودن در رابطه ۱ به معنای  $w$  کوچک است. واضح است که اگر  $w = 0$  باشد آنگاه ساده ترین حالت مدل بدست می آید. یک روش برای رسیدن به این مقصود، کمینه کردن نرم اقلیدسی می باشد. می توان این مسئله را تحت عنوان یک مسئله بهینه سازی محدب به شکل رابطه ۲ نوشت:

$$\text{Min} \frac{1}{2} \|w\|^2 \quad \begin{cases} y_i - \langle w, x_i \rangle - b \leq \mathcal{E} \\ \langle w, x_i \rangle + b - y_i \leq \mathcal{E} \end{cases} \quad (2)$$

مفروضات آمده در رابطه ۲ بیان می کنند که تابعی نظیر  $f$  وجود دارد به طوری که تمام نقاط  $(x_i, y_i)$  را با دقت  $\mathcal{E}$  تقریب می زند.

## ۳ اعمال روش

مراحل تخمین تراوایی با استفاده از ماشین بردار پشتیبان بهطور خلاصه شامل سه مرحله اصلی بصورت انتخاب مجموعه نگارهای مناسب، خوشه بندی دادهها توسط روش MRGC، تعیین نفوذپذیری به کمک ماشین بردار پشتیبان بر پایه تابع شعاعی می باشد. قبل از تخمین نفوذپذیری لازم است ابتدا در هر چاهی رخساره های الکتریکی از هر نوع را تفکیک نموده و بر طبق رنگ هر رخساره الکتریکی آن ها را دسته بندی کنیم. جهت نام گذاری بهتر رخساره های الکتریکی و ادامه مراحل کار از جدول ۱ کمک گرفته خواهد شد.

رخساره های الکتریکی نظیر در سه چاه SP-A، SP-B و SP-C کنار هم قرار گرفته و تشکیل چهار مجموعه رخساره الکتریکی را می دهند که در ادامه از هر کدام از این مجموعه ها برای آموزش ماشین بردار پشتیبان بر پایه تابع شعاعی استفاده شده و جهت تعیین دقت مدل در هر مجموعه رخساره الکتریکی، از داده های نظیر در رخساره های الکتریکی چاه SP-D استفاده می شود. معیار مورد نظر جهت بررسی دقت مدل همبستگی آماری می باشد که طبق رابطه ۳ تعریف می شود:

$$CC = \frac{\sum (y_r - \bar{y}_r)(y_e - \bar{y}_e)}{\sqrt{\sum (y_r - \bar{y}_r)^2 \sum (y_e - \bar{y}_e)^2}} \quad (3)$$

در این رابطه  $y_e$  و  $y_r$  به ترتیب بیانگر مقادیر حقیقی و مقادیر تخمین شده می باشند، در حالی که  $\bar{y}_e$  و  $\bar{y}_r$  میانگین مقادیر ذکر شده می باشند. از طرفی در نظر گرفتن سه عدد چاه برای آموزش مدل، به منظور بالا بردن عمومیت پذیری (Generalization) مدل رگرسیونی می باشد.

جدول ۱. نام گذاری رخساره های الکتریکی مورد مطالعه.

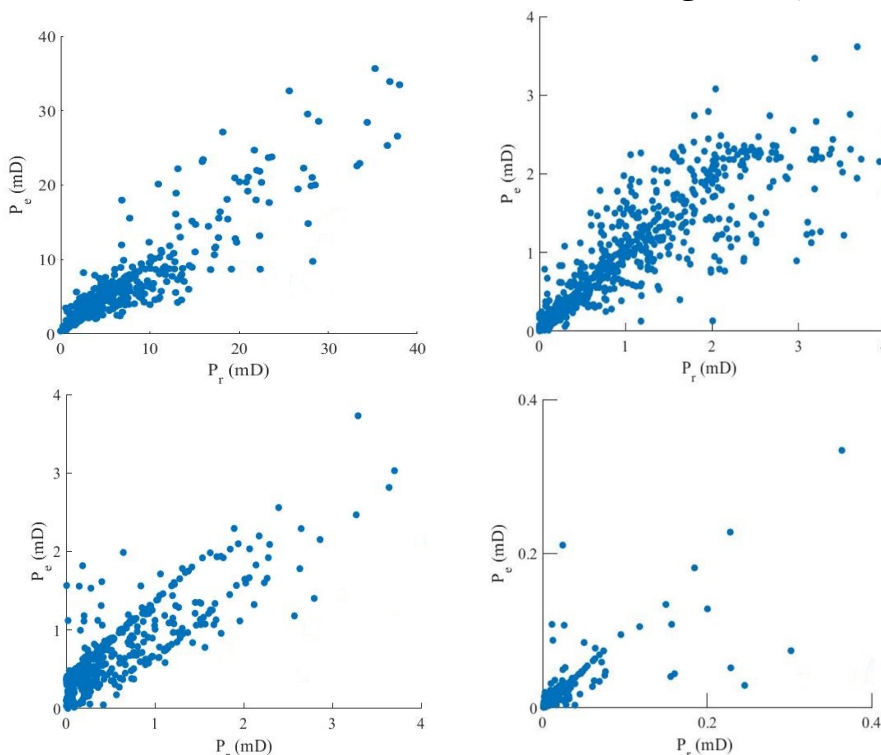
شماره رخساره الکتریکی	رنگ رخساره الکتریکی
۱	آبی
۲	نارنجی
۳	سبز
۴	قرمز

### تخمین نفوذپذیری در رخساره الکتریکی گروه

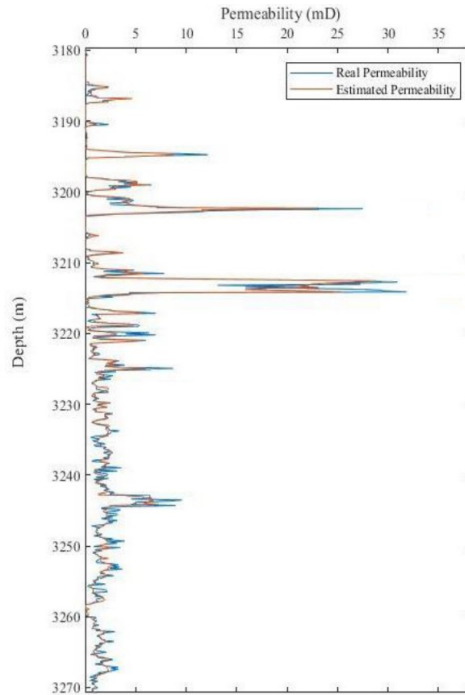
برای تخمین نفوذپذیری در رخساره الکتریکی گروه ۱ از مجموعه رخساره های شماره ۱ در سه چاه SP-A، SP-B و SP-C برای آموزش ماشین بردار پشتیبان استفاده کرده و جهت تعیین دقت مدل از رخساره الکتریکی شماره ۱ در چاه SP-D استفاده می کنیم. این کار برای تمامی گروه های دیگر تکرار خواهد شد. شکل ۱ نمودار پراکندگی نفوذپذیری واقعی و تخمین زده شده توسط ماشین بردار پشتیبان بر پایه تابع شعاعی را برای رخساره الکتریکی گروه های مختلف در چاه SP-D نشان می دهد. میزان همبستگی آماری بین مقادیر نفوذپذیری واقعی ( ) و تخمین زده شده ( ) در این رخساره الکتریکی مختلف به ترتیب، ۸۸.۲، ۷۸.۵۱، ۸۴.۷۳، ۷۷.۵۴ درصد می باشد.

### نگار نفوذپذیری در چاه SP-D

در این بخش داده های نفوذپذیری واقعی و تخمین زده شده برای هر چهار رخساره از چاه SP-D را بر حسب پارامتر عمق به صورت صعودی مرتب می کنیم. شکل ۲، نگار نفوذپذیری واقعی ( $P_r$ ) و تخمین زده شده ( $P_e$ ) را در چاه SP-D نشان در یک بازه دلخواه (عمق ۳۱۸۰ تا ۳۲۷۰ متری) نشان می دهد. تطابق بالای نگار نفوذپذیری تخمینی بدست آمده از روش ماشین بردار پشتیبان با نگار نفوذپذیری واقعی قابل مشاهده است.



شکل ۱. نمودار پراکندگی مقادیر نفوذپذیری واقعی بر حسب مقادیر تخمین زده شده برای رخساره الکتریکی گروه های مختلف در چاه SP-D.



شکل ۲. مقایسه نگار نفوذپذیری واقعی (آبی) و تخمین زده شده (قرمز) در بازه ای دلخواه از چاه SP-D بزرگنمایی شده.

### ۳ نتیجه گیری

همانطور که اشاره شد روش رگرسیون بردار پشتیبان به خاطر ویژگی های منحصر به فرد آن نظیر ریاضیات و تئوری مستدل، عدم همگرایی در کمینه محلی و عمومیت پذیری بالا روشی قابل اطمینان جهت برآورد تابع می باشد. در این تحقیق این روش جهت تخمین نفوذپذیری در یکی از چاه های میدان گازی پارس جنوبی بکار گرفته شد. ابتدا به کمک روش خوشه بندی چند تفکیکی برپایه گراف تعداد چهار رخساره الکتریکی در توالی مخزنی مورد مطالعه در چاه SP-A، SP-B، SP-C و SP-D بدست آمد. سپس با جدا سازی رخساره ها، در محل هر چاه درصد هر رخساره به طور دقیق تعیین شد. در مرحله بعد رخساره های نظیر در سه چاه اول یعنی SP-A، SP-B و SP-C با هم ادغام گردید. از مجموع این رخساره ها جهت آموزش ماشین بردار پشتیبان بر پایه تابع شعاعی استفاده گردید. سپس نفوذپذیری در چاه SP-D توسط مدل های ایجاد شده تخمین زده شد. جهت بررسی دقت و کارایی مدل های ایجاد شده از مفهوم ضریب همبستگی استفاده شد. مقدار ضریب همبستگی برای چهار رخساره مورد نظر بر حسب درصد ۸۸.۲، ۷۸.۵۱، ۸۴.۷۳ و ۷۷.۵۴ بدست آمد. با توجه به ناهمگن بودن مخزن گازی میدان پارس جنوبی و همچنین میزان بالای ضریب همبستگی بین مقادیر نفوذپذیری واقعی و تخمین زده شده در هر چهار رخساره از چاه SP-D، می توان به توانایی بالای روش ماشین بردار پشتیبان بر پایه تابع شعاعی در تخمین پارامتر نفوذپذیری پی برد.

### منابع

- خانمحمدی، م. و شرکتی، ش. ۱۳۸۹، تحلیل شکستگیها در میدان گازی پارس جنوبی، ماهنامه اکتشاف و تولید، شماره ۷۷، ص ۴۳-۴۹.
- Akande, K.O., et al., 2014. Performance comparison of SVM and ANN in predicting compressive strength of concrete, 16 (5), 88e94.
- Fletcher R. 1989. Practical Methods of Optimization. John Wiley and Sons, New York.
- Khoshbakht, F., and Mohammadnia, M., 2012, Assessment of Clustering Methods for Predicting Permeability in a Heterogeneous Carbonate -Reservoir, Journal of Petroleum Science and Technology, 2(2), 50-57.
- Lee, S. H. and Dutta-Gupta, A., 1999, Electrofacies Characterization and Permeability Predictions in Carbonate Reservoirs: Role of Multivariate Analysis and Nonparametric Regression, SPE56658, October.
- Mohaghegh, S., Arefi, R. and Ameri, S., 1996, Virtual measurement of heterogeneous formation permeability using geophysical well log responses, The Log Analyst (Society of Professional Well Log Analysts) p32-9.
- Nashawi, I. S. and Malallah, A., 2009, Improved electrofacies characterization and permeability predictions in sandstone reservoirs using a data mining and expert system approach. Petrophysics, 50(03).
- Schölkopf B. and Smola A.J. 2002. Learning with Kernels. MIT Press.
- Ye, S. J., and Rabiller, P., 2000, A new tool for electrofacies analysis: Multi-Resolution Graph Based Clustering: SPWLA 41st Annual Logging Symposium, Dallas, Texas, USA, Jun 4-7.