نقشه شباهت و کاربرد آن در تعیین نقاط با پتانسیل زیاد هیدروکربوری

زهره ذاکری‌نژاد[۱]، امین روشندل کاهو[۱*] و علی نجاتی کلاته[۱]

[۱] دانشگاه صنعتی شاهرود، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۹/۱۶، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۱۲/۱۶)

چکیده

تعیین تخلخل همواره در برآورد ذخیره درجای هیدروکربن، بررسی تغییرات رخساره، برنامه‌ریزی بهینه به‌منظور توسعه میدان، کاهش مخاطره و همچنین حفر تعداد کمتری چاه و در نتیجه کاهش هزینه‌های حفاری بسیار حائز اهمیت است. نشانگرهای لرزه‌ای و نگارهای چاه داده‌هایی هستند که در اغلب تحقیقات مخزن موجودند. تبدیل چندنشانگری عموماً از تلفیق کردن نشانگرهای لرزه‌ای با نگارهای چاه برای آنالیز خواص مخزن اجرا می‌شود. یک مفسر برای تعیین نقاط بهینه حفاری نیاز به نظارت بر نقشه‌های گوناگون دارد که هرکدام دارای اطلاعاتی هستند. این فرایند طولانی و طاقت‌فرسا است و احتمال خطا در آن زیاد است. در این تحقیق روشی ارائه می‌شود تا از راه خلاصه‌کردن همه اطلاعات، تنها در یک نقشه، وظیفه مفسر را برای آنالیز چندین نشانگر لرزه‌ای، به‌صورت هم‌زمان آسان کند. این نقشه که نقشه شباهت نام دارد، همانندی پاسخ‌های لرزه‌ای هر منطقه در کل ناحیه مورد بررسی را نسبت به یک محل انتخاب شده (مبنا) در منطقه نشان می‌دهد. بررسی نتیجه نقشه شباهت و نقشه توزیع تخلخل در محدوده مخزن، همخوانی مناسب میان این دو نقشه را که از روش‌های متفاوت به‌دست آمده‌اند و هرکدام دارای اطلاعات مخصوصی برای مفسر هستند، نشان می‌دهد که به تصمیم‌گیری مطمئن‌تر برای انتخاب نقطه‌ای با پتانسیل زیاد اکتشافی و با مخاطره کمتر حفاری کمک می‌کند.

واژه‌های کلیدی: نقشه شباهت، توزیع تخلخل، نشانگر لرزه‌ای، نقطه بهینه حفاری، توصیف مخزن

Similarity map and its applications for determination of areas with high hydrocarbon exploration potential

Zohre Zakeri Nezhad [1], Amin Roshandel Kahoo [1*] and Ali Nejati Kalateh [1]

[1] *Shahrood University of Technology, Iran*

(Received: 7 December 2011, accepted: 6 March 2012)

Summary

Determination of porosity distribution is important in hydrocarbon reserve estimation, facies variations, optimized planning for field development and decrease in drilling risks and costs. Porosity is one of the most important parameters, which is considered as a fundamental factor in reservoir engineering. By knowing this parameter, specialists are

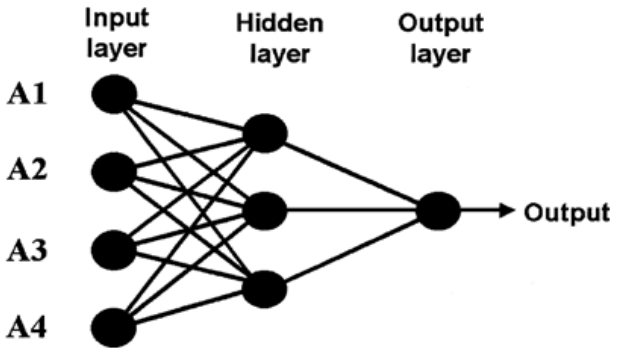
[*] Corresponding author: roshandel@shahroodut.ac.ir [*] نگارنده رابط:

able to design and manage, effectively, the process of oil and gas field development. Seismic attributes and well logs are the data available in most of the reservoir studies. Seismic attribute analysis is generally done through correlating multi attributes to the reservoir characteristics. A good interpreter needs to observe several maps with certain information to prepare optimal drilling points. Such a process is long and exhausting with high probability of error. We present in this paper a method to ease the interpreter's task of analyzing dozens of seismic attributes by integrating all the information into just one map, this map, the similarity map, shows the resemblance of the seismic response of each region of the whole study area with respect to a selected location in the field. In this paper, 3D seismic data in the study area are interpreted using well data. In addition, seismic inversion was conducted in order to estimate the porosity distribution based on the acoustic impedance within the study area. Moreover, an attempt was made to predict the effective porosity by designing a probabilistic neural network (PNN) and simultaneously using seismic attributes and effective porosity logs in the reservoir window. This was done by deriving a multi-attribute transformation between an optimum subset of seismic attributes and effective porosity logs. Seismic traces close to the well locations were used to generate seismic attributes. Effective porosity logs at the reservoir area were the target logs in this study. A set of seismic attributes were generated using HRS software and a forward stepwise regression process was used to determine an optimum subset of attributes to be utilized in the training of neural networks. Ultimately, we obtained a porosity map of the studied area. The inputs of the similarity analysis included a set of uncorrelated seismic attribute maps, the coordinates of the control point, and the radius around the control point that circles an area (the reference zone) of nearly constant attribute response. Four different attribute volumes generated were then used in the study: instantaneous amplitude, instantaneous phase, instantaneous frequency, and acoustic impedance. A horizon-slice at the reservoir was extracted from each of the attribute volumes. First, Well 08-08 (a high producing well) was chosen as a reference well. The selection of the reference well could be the highest production well, the lowest production well, a dry well, or any other classification depending on the objective of the analysis. The objective was to map the reservoir of the field based on the reference point 08-08 for possible high production areas. A radius value around the well was then chosen to calculate the mean and the standard deviation of the reference point within the radius from the extracted horizon slice for each of the attributes. The output of the first step was (N) different reference means and reference standard deviation for the same reference point; (N=4) is the number of attributes that were used in the study. The next step was to calculate a zero-one matrix from the extracted horizon-slice for each attribute based on a statistical criterion that would assign either zero or one to every node for a given horizon-slice. Finally, zero-one maps were integrated into one single map. The four attributes revealed different information and their zero-one maps showed different distributions that help the interpreters correlate each map to other types of information such as production or geologic information. The final map was obtained by integrating the zero-one maps. Studying the results obtained from the "similarity map" and "porosity map" in reservoir zone presented a convincing correlation between the two maps found through different methods each having specific information for the interpreters and helping them make more reliable decision to choose a prospective point, with less drilling risks.

Key words: Similarity map, porosity distribution, seismic attribute, optimal drilling point, reservoir characterization

۱ مقدمه

به‌دست آوردن توصیف صحیحی از تغییرات جانبی ناهمگنی‌های مخزن اغلب در ساخت مدل مخزن حیاتی است. یکی از روش‌های به‌دست آوردن تصویر زیرسطحی مناسب برای اکتشاف منابع هیدروکربنی، استفاده از داده‌های لرزه‌ای است. برآورد توزیع خواص پتروفیزیکی مخزن مثل تخلخل و تراوایی یکی از اهداف مهم در توصیف سنگ مخزن است که نقش مهمی در بهره‌برداری از آن دارد. اگر پارامترهای فوق در سراسر مخزن یکنواخت می‌بودند، اندازه‌گیری‌های صورت گرفته حتی در یک چاه برای توصیف مخزن کافی بود. ولی به‌خاطر ناهمگنی‌های موجود در سنگ مخزن، این پارامترها، تغییرات زیادی در محدوده مخزن از خود آشکار می‌سازند. بنابراین نیازمند استفاده از روش‌های تجمیع به منظور استفاده بهینه از همه داده‌های موجود برای دستیابی به مدلی مناسب از آنها هستیم (عدالت و همکاران، ۱۳۸۸). داده‌های لرزه‌ای و نگارهای چاه دو نوع اصلی داده‌ها هستند که در برآورد خواص پتروفیزیکی، می‌توان به‌کار برد. اگرچه داده‌های چاه‌نگاری خصوصیات مخزنی را با تفکیک‌پذیری زیاد عمودی فراهم می‌کنند، اما این اطلاعات محدود به اطراف چاه است. برعکس، داده‌های لرزه‌نگاری دارای تفکیک‌پذیری جانبی بهتری هستند و نه تنها اطلاعات دورتر از چاه را می‌دهند بلکه از جنبه‌های ساختاری و چینه‌ای نیز بهره‌مندند (گرابنر و واسون، ۱۹۸۱). از آنجاکه داده‌های لرزه‌ای یک پوشش سه‌بُعدی از یک منطقه را در اختیار مفسر می‌گذارند، محققان همواره در پی استفاده از این داده‌ها برای توصیف مخازن هستند. تجمیع داده‌های لرزه‌ای سه‌بُعدی با نگارهای پتروفیزیکی می‌تواند به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای توصیف تغییرات جانبی مخزن را بهبود دهد (کرنیش وکینگ، ۱۹۸۸). با وجود این استخراج چنین اطلاعات مخزنی از داده‌های لرزه‌ای اغلب مشکل است. دلیل آن این است که داده‌های لرزه‌ای، نسبت به اطلاعات به‌دست آمده از نگارهای چاه‌ها اغلب دارای پهنای باند محدودی هستند و بنابراین فقط می‌توانند یک توصیف از میانگین خصوصیات مخزنی به‌دست دهند (عدالت و سیاه‌کوهی، ۱۳۸۶). نشانگر لرزه‌ای به هر پارامتری گفته می‌شود که بتوان آن را به‌نوعی از داده‌های لرزه‌ای قبل یا بعد از برانبارش به‌دست آورد. از یک دیدگاه کلی، تعریف نشانگرهای لرزه‌ای، همه کمیت‌های به‌دست آمده از داده‌های لرزه‌ای را در بر می‌گیرد. نشانگرهای لرزه‌ای آن دسته از خصوصیات مخزنی و زمین‌شناسی را که نمی‌توان در داده‌های لرزه‌ای خام دید، مشخص می‌کنند. نشانگر لرزه‌ای پارامتری است که به‌نحوی بتواند داده‌های لرزه‌ای را با مشخصه‌های مخزن ارتباط دهد و ویژگی‌های مخزن را آشکار سازد. تعداد زیادی از تحقیقات قبلی روشن ساخته‌اند که برآورد کردن خصوصیات نگاره‌ها با استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای امکان‌پذیر است (همپسون و همکاران، ۲۰۰۱). هر نشانگر لرزه‌ای توصیف منحصری از مخزن به‌دست می‌دهد. لذا تحلیل چندگانه این نشانگرها می‌تواند در توصیف کامل مخزن، کمک شایانی کند. روش‌های متفاوتی برای تحلیل چندگانه نشانگرهای لرزه‌ای و تلفیق آنها با نگارهای چاه وجود دارد. یکی از روش‌های متداول، استفاده از همبستگی میان نگارهای چاه و نشانگرهای لرزه‌ای است. رابطه این همبستگی را می‌توان از طریق رگرسیون و یا روش‌های هوشمند به‌دست آورد. روش دیگر تحلیل چندگانه نشانگرهای لرزه‌ای، استفاده از روش آماری نقشه شباهت است که در کنار تحلیل همبستگی میان اطلاعات لرزه‌ای و نگارهای چاه می‌تواند توصیف کامل‌تری از مخزن فراهم آورد و در تعیین بهترین نقاط حفاری مورد استفاده قرار گیرد (المقبل، ۲۰۰۲).



شکل ۱. ساختار اجمالی یک شبکه عصبی شامل لایه ورودی، لایه مخفی و لایه خروجی.

۲ وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای

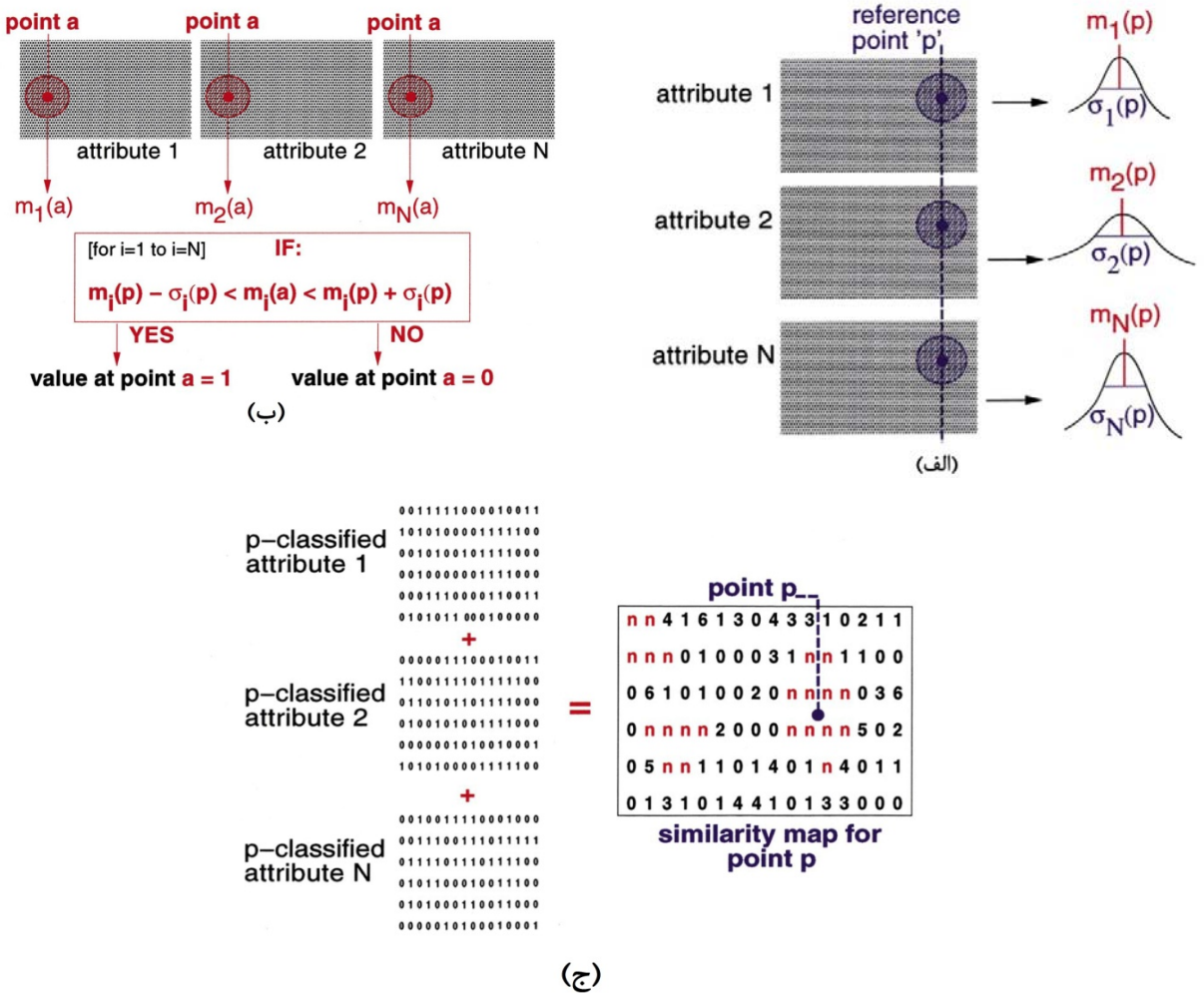
در ژئوفیزیک روش‌های زیادی برای توصیف مخازن، مطرح شده است. یکی از این روش‌ها وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای است که داده‌های لرزه‌ای بازتابی را که حاصل از اندازه‌گیری‌های روی سطح زمین است، به خصوصیات سنگ‌شناسی تعمیم می‌دهد. حاصل این وارون‌سازی، مقاومت ظاهری لرزه‌ای است. مقاومت ظاهری لرزه‌ای، از حاصل‌ضرب سرعت امواج لرزه‌ای و چگالی به‌دست می‌آید و به‌صورت عمده‌ای در توصیف مخازن از آن استفاده می‌شود. این فرایند معمولاً با نگارهای چاه همراه است که نسبت به داده‌های لرزه‌ای اطلاعات دقیق‌تری از خواص ژئوفیزیکی را در محل چاه آشکار می‌کنند. وارون‌سازی، شامل همهٔ روش‌هایی است که برای به‌دست آوردن مقاومت ظاهری لرزه‌ای باند پهن از ردلرزه‌هایی با باند محدود صورت می‌گیرد. برای درک بهتر وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای، ابتدا بایستی با نحوه تشکیل یک ردلرزه آشنا شد.

یک ردلرزه را می‌توان به‌صورت مدل همامیختی رابطه (۱) بیان کرد:

$$x(t) = w(t) * r(t) + n(t), \qquad (۱)$$

که $x(t)$ ردلرزه، $r(t)$ سری بازتاب زمین، $w(t)$ موجک چشمه لرزه‌ای و $n(t)$ نوفه را نشان می‌دهد. سری بازتاب زمین پهن باند است، یعنی دارای محدوده بسامد وسیعی است، اما موجک لرزه‌ای این‌طور نیست. بنابراین زمانی‌که همامیخت صورت می‌گیرد، ردلرزه که خروجی حاصل از آن است به‌صورت محدود باند خواهد بود. بنابراین مقاومت ظاهری لرزه‌ای استخراج شده نیز به‌صورت محدود باند خواهد بود. هدف از وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای، تبدیل داده‌های لرزه‌ای باند محدود به شبه نگارهای مقاومت ظاهری لرزه‌ای باند پهن در هر ورداشت نقطه عمقی مشترک و یا نقطه میانی مشترک است. بنابراین وارون‌سازی لرزه‌ای فرایندی است که ضمن آن کوشش می‌شود تا براساس مدل‌های لرزه‌ای اولیه و موجک‌های برآورد شده، مدل مقاومت ظاهری لرزه‌ای نزدیک به مدل واقعی زمین برآورد شود (وروست و همکاران، ۲۰۰۰). برآورد درست و دقیق موجک چشمه لرزه‌ای در وارون‌سازی داده‌ها اهمیت زیادی دارد. در مواردی که نگارهای چاه‌پیمایی در دسترس باشد، می‌توان با استفاده از داده‌های چاه و داده‌های لرزه‌ای موجک قابل‌قبولی به‌دست آورد. به‌کارگیری هم‌زمان داده‌های لرزه‌ای و نگارهای چاه در لرزه‌نگاشت مصنوعی هم‌حوزه با چاه مناسب‌ترین راه برای استخراج موجک لرزه‌ای است. کیفیت وارون‌سازی به همبستگی ردلرزه‌های مصنوعی و واقعی در اطراف چاه‌ها بستگی دارد. با افزایش دقت در برآورد موجک چشمه، این همبستگی افزایش

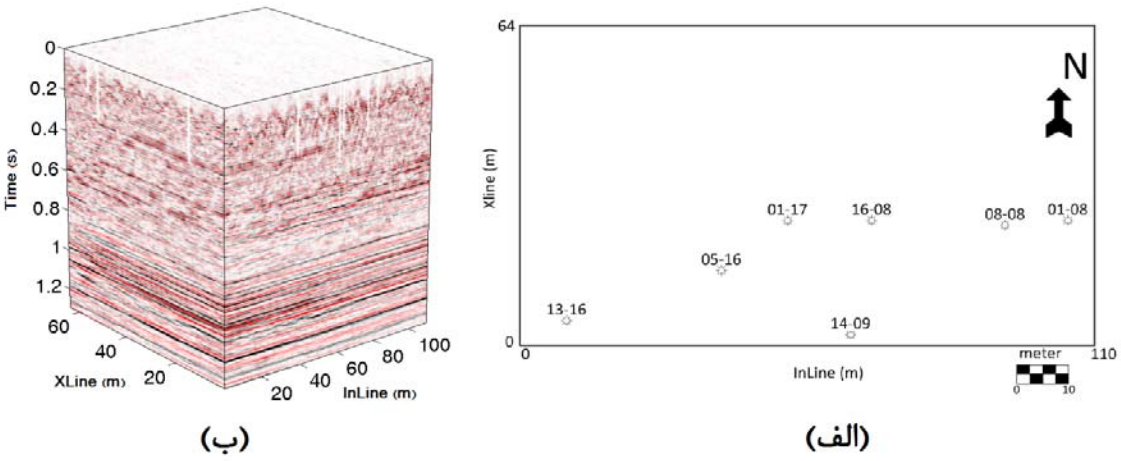
می‌یابد (ساطعی و مختاری، ۱۳۸۸). داده‌های لرزه‌ای بازتابی از راه تغییر در مقاومت ظاهری لرزه‌ای بین دو لایه ایجاد می‌شوند و به کمک مقاومت ظاهری لرزه‌ای می‌توان تفسیر بهتری از خصوصیات سنگ‌شناسی، چینه‌ای، ساختاری و سیال مخزن همراه با جزئیات بیشتر نسبت به داده لرزه‌ای خام داشت. تخلخل از جمله پارامترهای مهم در برآورد میزان نفت درجا است. از این‌رو پس از تهیه مقاومت ظاهری لرزه‌ای، که یکی از نشانگرهای لرزه‌ای مهم و مرتبط با تخلخل است، استفاده از روشی که بتوان تخلخل را از این نشانگر و سایر نشانگرهای لرزه‌ای به‌دست آورد، حائز اهمیت است. دو روش رگرسیون چندگانه خطی با ترکیب خطی نشانگرها و شبکه عصبی مصنوعی با روشی غیرخطی به برآورد خصوصیات مخزنی می‌پردازند.



شکل ۲. مراحل تهیه نقشه شباهت (میچلنا و همکاران، ۱۹۹۸).

۳ رگرسیون چندگانه خطی

رگرسیون چندگانه خطی یک جواب کلی از بهترین خط منطبق شده به خط مستقیم است. نشانگرهای زیادی برای برآورد خصوصیات مخزنی قابل استفاده هستند که باید از این میان بهترین نشانگرهای لرزه‌ای را برای برآورد تخلخل مشخص کرد. یکی از روش‌های مفید برای پیدا کردن بهینه نشانگرهای لرزه‌ای، رگرسیون مرحله‌ای است. در این روش ابتدا بهترین نشانگر لرزه‌ای با روش جست‌وجوی جامع از روی همه نشانگرها انتخاب می‌شود. نشانگری که کمترین مجموع مربعات خطا را بین مقادیر برآورد شده و مقادیر واقعی داشته باشد، اولین نشانگر انتخابی خواهد بود. در مرحله بعدی از میان همهٔ نشانگرها، با ترکیب نشانگری که در مرحله قبل انتخاب شده است و یکی دیگر از نشانگرها، بهترین جفت نشانگر پیدا می‌شود. به همین ترتیب بهترین سه نشانگر انتخاب می‌شود. در این مرحله از جفت نشانگر مرحله قبل و یک نشانگر دیگر برای برآورد استفاده می‌شود. نشانگری که در ترکیب با دو نشانگر قبلی کمترین مجموع مربعات خطا را داشته باشد، انتخاب سوم خواهد بود. این فرایند تا جایی که مورد علاقه است، ادامه پیدا می‌کند. رگرسیون گام‌به‌گام تعداد بهینه نشانگرها را نمی‌دهد و دارای محدودیتی در افزایش تعداد نشانگرها نیست. با توجه به اینکه افزایش تعداد نشانگرها، علی‌رغم افزایش همبستگی بین داده‌های برآورد شده و واقعی از یک حدی به بعد باعث بیش‌برازش می‌شود و افزایش خطا در برآورد از نتایج آن است، روشی که با آن بتوان تعداد بهینه این نشانگرها را مشخص کرد، مفید خواهد بود. روش اعتبارسنجی متقابل این نقص را رفع می‌کند. به‌این‌صورت که نمونه‌ای از کل نمونه‌هایی را که برای آموزش شبکه به‌کارمی‌روند، کنار می‌گذارد و شبکه آموزش داده می‌شود. سپس از روی شبکه آموزش داده شده، مقادیر نمونه کنار گذاشته شده برآورد و مجموع مربعات خطای آن محاسبه می‌شود. اینک نمونه کنار گذاشته شده را به مجموعه بازگردانده و یک نمونه دیگر انتخاب و مجموع مربعات خطا برای آن محاسبه می‌شود. این کار برای همهٔ نمونه‌ها تکرار و در پایان میانگین همهٔ مجموع مربعات خطا اندازه‌گیری می‌شود. این خطا به خطای اعتبارسنجی معروف است. خطای اعتبارسنجی را برای هریک از مراحل رگرسیون مرحله‌ای محاسبه می‌کنند. آنجا که خطا افزایش می‌یابد، باید فرایند رگرسیون مرحله‌ای را متوقف کرد و تعداد بهینه نشانگرها را معین ساخت.

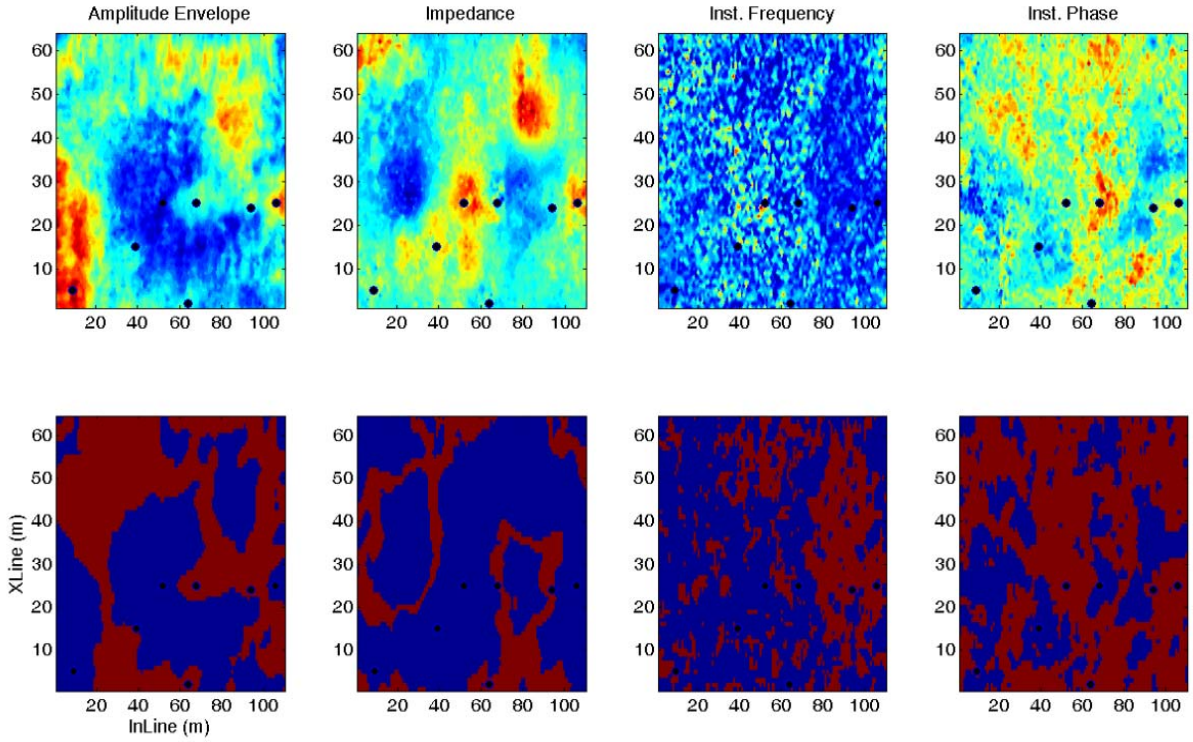


شکل ۳. (**الف**) موقعیت خطوط لرزه‌نگاری و چاه‌ها و (**ب**) مکعب داده‌های لرزه‌ای.

۴ شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی ابزارهای محاسباتی موازی‌اند که تعداد زیادی پردازشگرهای متصل به یکدیگر را دربر دارند. هر پردازشگر در یک شبکه فقط با سیگنال‌هایی که دریافت و به پردازشگرهای دیگر ارسال می‌کند، سروکار دارد. این پردازشگرهای سادهٔ موضعی هنگامی که در یک شبکه موزون قرار می‌گیرند، توانایی به انجام رساندن کارهای پیچیده را پیدا می‌کنند. شبکه‌های عصبی عموماً از سه لایه ورودی، مخفی و خروجی تشکیل شده‌اند. هر لایه در شبکه عصبی از مجموعه‌ای از چندین نرون تشکیل شده است، که مطابق الگوهایی به هم متصل‌اند. این الگوها امکان ارتباط و عبور اطلاعات بین واحدها را تعیین می‌کنند. واحدها، پردازشگرهای ساده‌ای هستند که توانایی محاسباتی آنها معمولاً محدود شده است به قاعده‌ای برای ترکیب سیگنال‌های ورودی و یک قاعدهٔ برانگیزش که ورودی‌های ترکیب شده را می‌گیرد و یک سیگنال خروجی را محاسبه می‌کند. سیگنال‌های خروجی از راه اتصال‌هایی که وزن نامیده می‌شوند، به واحدهای دیگر ارسال می‌شوند. شکل ۱ ساختار شبکه‌های عصبی را به اجمال نشان می‌دهد.

دو نوع شبکه عصبی برای مسائل برآورد کردن مناسب هستند: شبکه عصبی احتمالاتی و شبکه عصبی پیشرو چندلایه. آموزش در شبکه عصبی احتمالاتی خیلی سریع‌تر از شبکه‌های عصبی پیشرو چندلایه صورت می‌گیرد. هنگامی‌که تعداد نمونه‌ها خیلی کم است (کمتر از ۱۰۰ نمونه) شبکه‌های احتمالاتی بهتر از شبکه‌های پیشرو چندلایه عمل می‌کنند. از طرفی تحقیقات اخیر نشان داده است که شبکه‌های عصبی احتمالاتی موفقیت بیشتری در برآورد کردن تخلخل با استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای داشته‌اند. این شبکه، یک شبکه تحت نظارت است که از یک تابع انتقال نمایی استفاده می‌کند. مزیت اصلی این شبکه این است که زمان آموزش آن نسبت به شبکه‌های



شکل ۴. چهار نشانگر مورد استفاده به‌همراه نقشه‌های صفر-یک هرکدام از آنها.

پس‌انتشار خیلی کوتاه‌تر است. علاوه بر این شبکه عصبی احتمالاتی با داده‌های پراکنده با موفقیت آموزش می‌بیند و الگوهای جدید را می‌توان در هنگام آموزش روی الگوی قبلی بازنویسی کرد. این شبکه هر الگوی آموزشی را ذخیره می‌کند و بنابراین برای گستره‌های خیلی بزرگ کارایی ندارد. در مورد مسائلی که در آنها زمان آموزش خیلی حساس است و یا مجموعه داده‌های آموزشی در دسترس، کوچک است، این شبکه می‌تواند جایگزینی خوب برای شبکه‌های پس‌انتشار باشد (عدالت و همکاران، ۱۳۸۸). همپسون و همکاران و لیپارت و هارت در ۲۰۰۱ روش‌های گوناگونی مانند رگرسیون خطی چندگانه و PNN را در برآورد تخلخل با هم مقایسه کردند و به این نتیجه رسیدند که برآورد تخلخل از روی نشانگرهای لرزه‌ای با استفاده از PNN به‌خاطر راحتی و دقت محاسبات بهتر است.

۵ نقشه شباهت

هر نشانگر ممکن است اطلاعات دقیقی را آشکار کند که نمی‌توان آن را در یک مقطع لرزه‌ای متعارف تشخیص داد. وقتی با چندین نشانگر لرزه‌ای سروکار داریم، نیازمند یک رویکرد مناسب برای دسته‌بندی و ترکیب اطلاعات نشانگرهای لرزه‌ای متفاوت هستیم. نقشه شباهت راهی برای ترکیب اطلاعات به‌منظور نشان دادن نقاط مشابه در مخزن با توجه به یک محل مبنای انتخابی است، که نقطه مبنای آن می‌تواند یک چاه خشک یا یک چاه تولید کننده باشد. به‌علاوه نقشه شباهت با نشان دادن روند و الگوهای عمومی مخزن، به توصیف مخزن کمک می‌کند. نقشه‌های نشانگرهای لرزه‌ای که برای آنالیز شباهت از آنها استفاده می‌شود باید مستقل از یکدیگر باشند تا از معرفی اطلاعات اضافی اجتناب شود. اگرچه مفسرهای باتجربه در مورد اینکه کدام نشانگر معمولاً یک همبستگی خوب با یک ویژگی خاص مخزن دارد به درک مناسبی رسیده‌اند، اما همبستگی بین نشانگرها و خواص مخزن را نمی‌توان از یک مخزن به مخزن دیگر برون‌یابی کرد. برای مشخص کردن حدود ناحیه اطراف چاه، که به‌منزلهٔ ناحیه مرجع در نظر گرفته می‌شود، توزیع مقادیر نشانگرها در دور چاه را درحکم تابعی از فاصله از چاه آنالیز می‌کنیم. فاصله مناسبی از چاه؛ یعنی جایی‌که پاسخ نشانگرها تقریبا ثابت می‌ماند، به‌منزلهٔ شعاع ناحیه مرجع در نظر گرفته و در محاسبات استفاده می‌شود. در این تحقیق از چهار نشانگر دامنه لحظه‌ای، فاز لحظه‌ای، بسامد لحظه‌ای و مقاومت ظاهری لرزه‌ای استفاده شده است. برای تلفیق نشانگرهای لرزه‌ای و اجتناب از مشکلات مربوط به تغییرات در ضخامت لایه‌ها، نقشه نشانگرهای لرزه‌ای، بین دو افق محاسبه می‌شود و از میانگین نقشه هر نشانگر میان دو افق درحکم نقشه مربوط به آن بازه استفاده می‌شود (میچلنا و همکاران، ۱۹۹۸).

ورودی آنالیزهای شباهت، یک مجموعه از نقشه‌های نشانگرهای لرزه‌ای غیرهمبسته، مختصات نقاط کنترلی و شعاع دور نقطه کنترلی که ناحیه‌ای با پاسخ نشانگری تقریبا ثابت را دور می‌زند، هستند. فرایند ایجاد نقشه‌های شباهت به سه مرحله تقسیم می‌شود که عبارت است از: محاسبه مقادیر مرجع، طبقه‌بندی و جمع. برای محاسبه مقدار مرجع، در یک پنجره حول نقطه مبنای p، در نقشه نشانگر مقدار میانگین (m_p) و انحراف معیار (σ_p) نشانگر محاسبه می‌شود. در مرحله دوم، برای هر نقطه مانند a از نقشه نشانگر، یک پنجره مشابه نقطه مبنا، حول نقطه a در نظر گرفته و میانگین مقادیر داخل پنجره (m_a) محاسبه می‌شود. سپس با توجه به نامساوی تعریف شده رابطه (۲) مقدار صفر یا یک برای نقشه صفر-یک متناظر آن نشانگر در نقطه a در نظر گرفته می‌شود. اگر مقدار m_a در رابطه (۲) صدق کند، مقدار یک و در غیر این صورت مقدار صفر برای آن نقطه در نظر گرفته می‌شود. با

تکرار این روش برای همهٔ نقاط نقشه نشانگر، می‌توان نقشه صفر-یک برای آن نشانگر را به‌دست آورد.

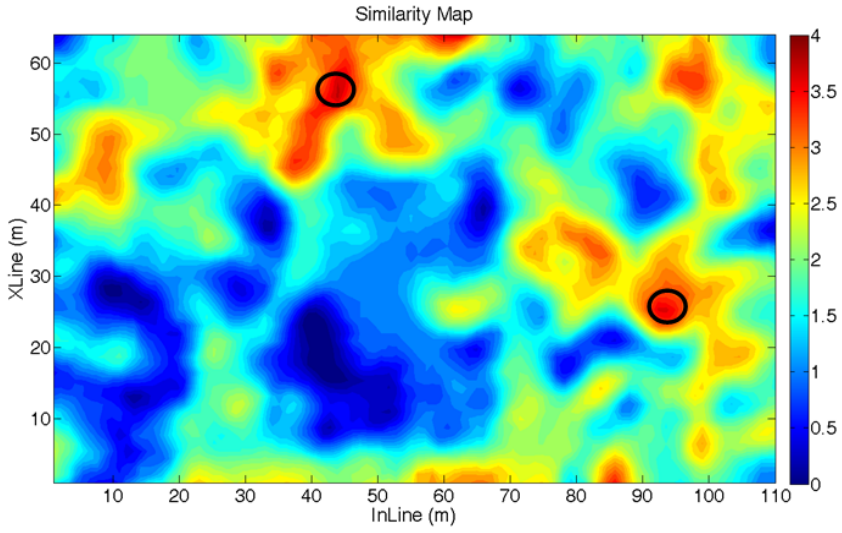
$$m_p - \sigma_p < m_a < m_p + \sigma_p, \qquad (۲)$$

پس از آنکه نقشه صفر-یک برای هرکدام از نشانگرها به‌دست آمد، می‌توان با جمع همهٔ نقشه‌های صفر-یک نشانگرها، نقشه شباهت را به‌دست آورد. در شکل ۲ فرایند محاسبه نقشه شباهت به‌صورت طرحوار نشان داده شده است (میچلنا و همکاران، ۱۹۹۸).

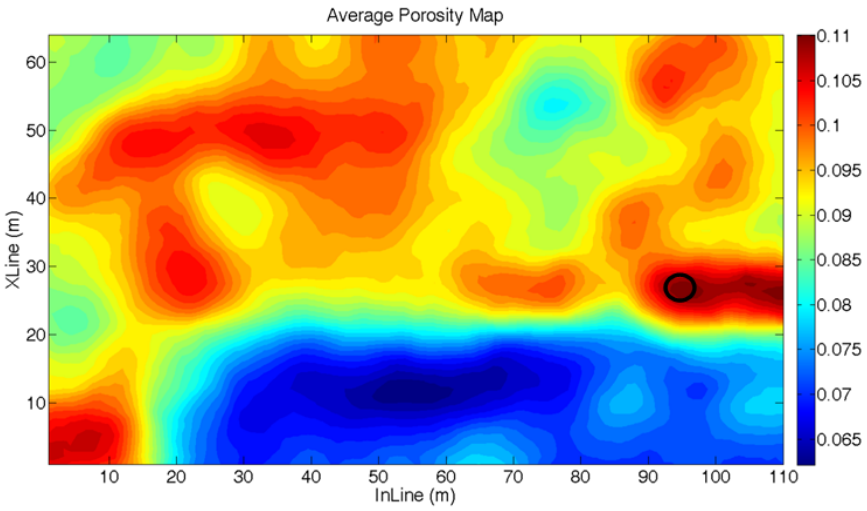
به وضوح مشخص است که محدوده مقادیر در نقشه شباهت از صفر تا تعداد نشانگرهای مستقلی که استفاده شده است، تغییر می‌کند. اگر نقطه مبنا یک چاه تولید کننده باشد، نقشه شباهت مرتبط با آن، مناطق با پتانسیل زیاد تولیدی را نشان می‌دهد و اگر چاه مبنا یک چاه خشک باشد، نقشه شباهت مربوط به آن، ناحیه‌ای با حق‌تقدم پایین‌تر در برنامه‌های اکتشافی را برجسته می‌کند.

۶ اِعمال روی داده واقعی لرزه‌ای

به منظور بررسی کارآیی روش روی داده‌های واقعی، قسمتی از داده‌های لرزه‌ای سه‌بُعدی عرضه شده در نرم‌افزار همپسون-راسل را انتخاب کردیم. این داده‌ها در ۱۱۹ خط گیرنده و ۸۱ خط چشمه با فاصله نمونه‌برداری زمانی ۲ میلی ثانیه برداشت شده‌اند. در محل داده‌ها ۱۳ عملیات چاه‌نگاری صورت گرفته است که در این مورد از ۷ چاه که دارای نگار تخلخل هستند، استفاده شد. محدوده‌ای با ۱۱۰ خط گیرنده و ۶۴ خط چشمه از کل داده‌ها برای محاسبات انتخاب شد. در شکل ۳ موقعیت خطوط لرزه‌نگاری و چاه‌ها به‌همراه مکعب داده‌های لرزه‌نگاری نشان داده شده است. بخش اول کار، عملی ساختن وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای است. ابتدا نگارهای موجود در محل چاه‌ها (نگارهای صوتی، چگالی و تخلخل) به کمک داده‌های لرزه‌نگاری چاه (چک‌شات) به‌منظور هماهنگی با داده‌های لرزه‌ای، از مقیاس عمقی به



شکل ۵. نقشه شباهت.



شکل ۶. توزیع تخلخل در محدوده میان دو افق مانویل و مانویل پایین.

مقیاس زمانی تبدیل و سپس ردلرزه مصنوعی ساخته می‌شود. پس از آن داده‌های چاه با داده‌های لرزه‌ای همبسته می‌شود. در مرحله بعد به کمک وارون‌سازی لرزه‌ای، مدل مقاومت ظاهری لرزه‌ای تهیه می‌شود. لازم است با تکرار مدل‌سازی با پارامترهای متفاوت به مدلی با کمترین خطا دست یافت. این مراحل در بخش استراتا از نرم‌افزار همپسون- راسل صورت می‌گیرد. در قسمت بعد با انتخاب نشانگرهایی که در ارتباط با پارامترهای مخزنی مثل تخلخل هستند، بهترین رابطه برای تخلخل در قسمت مورد بررسی به‌دست می‌آید. این بخش از کار در قسمت ایمرج از نرم‌افزار پیش‌گفته صورت می‌پذیرد. درنهایت به توزیع تخلخل در محدوده مورد بررسی دست پیدا می‌کنیم. آخرین مرحله از کار که در واقع هدف این تحقیق نیز هست، عملی ساختن آنالیز جدید شباهت است. برای تهیه نقشه شباهت در این تحقیق از نرم‌افزار مَتلَب استفاده شده است. در این بررسی چاه ۰۸-۰۸ درحکم چاهی که در نتیجه توزیع تخلخل، تخلخل زیادی را نشان می‌دهد به‌مثابهٔ چاه مبنا در نظر گرفته شد و نقشه شباهت بین دو افق مانویل و مانویل پایین که احتمال حضور مخزن بیشتر است، محاسبه شد. همان‌طور که گفته شد در این تحقیق از چهار نشانگر دامنه لحظه‌ای، فاز لحظه‌ای، بسامد لحظه‌ای و مقاومت ظاهری لرزه‌ای استفاده می‌شود که در شکل ۴، چهار نشانگر میانگین در بازه میان دو افق پیش‌گفته به‌همراه نقشه صفر-یک هرکدام نشان داده شده است. به‌منظور ساخت نشانگرهای لرزه‌ای از نرم‌افزار همپسون – راسل استفاده شد. در شکل ۵ نیز نقشه شباهت به‌دست آمده از مجموع چهار نقشه صفر-یک مربوط به چهار نشانگر دیده می‌شود که برای نمایش بهتر، داده‌ها هموار شده‌اند. در شکل ۶ نیز نقشه توزیع تخلخل (با استفاده از شبکه عصبی احتمالاتی) محاسبه شده مربوط به همان بازه زمانی نشان داده شده است. محل تقریبی چاه مبنا نیز در هر دو نقشه مشخص شده است. با بررسی نتایج این دو نقشه دید کامل‌تری نسبت به منطقه مورد بررسی به‌دست می‌آید و می‌توان نقطه‌ای را در حدود خط گیرنده ۴۵اُم و خط چشمه ۵۵اُم درحکم نقطه‌ای با پتانسیل زیاد اکتشافی و مخاطره کمتر حفاری انتخاب کرد که محل آن به‌صورت تقریبی در شکل ۵ نشان داده شده است. هم نقشه شباهت و هم نقشه توزیع تخلخل، پتانسیل اکتشافی زیادی را برای این محدوده نشان می‌دهند، بنابراین مخاطره حفاری در این محدوده کمتر است. این دو نقشه

یعنی نقشه توزیع تخلخل و نقشه شباهت از دو روش کاملا متفاوت حاصل شده‌اند، بااین‌حال هماهنگی رضایت‌بخش و قابل‌قبولی را می‌توان بین این دو نقشه مشاهده کرد. با دقت در نقشه شباهت به‌خوبی می‌بینیم که این نقشه از روندها پیروی می‌کند و نقاط شبیه به محل چاه ۰۸-۰۸ را نشان می‌دهد و ما را از درستی و صحت کار به انجام رسیده در مراحل قبلی هم مطمئن می‌کند. به‌این‌ترتیب می‌توان نقاط مناسب و امیدوارکننده برای حفاری‌های آینده را نیز تعیین کرد. توجه به این نکته نیز مهم است که این دو نقشه با یکدیگر مقایسه نمی‌شوند بلکه در کنار هم از طرح اکتشافی حمایت می‌کنند. با کنار هم قرار دادن و بررسی هم‌زمان این نقشه‌ها می‌توان با مخاطره کمتری در مورد نقاط امیدوارکننده تصمیم گرفت. استفاده از این دو نقشه می‌تواند به مفسر کمک کند تا تفسیر دقیق‌تر و مطمئن‌تری به‌دست دهد.

۷ نتیجه‌گیری

در این تحقیق از یک شبکه عصبی احتمالاتی استفاده کردیم. این شبکه با نشانگرهای لرزه‌ای استخراج شده از ردلرزه‌ها در محل چاه‌ها و همچنین نگارهای تخلخل موثر متناظر این چاه‌ها آموزش داده شد و بهترین نشانگرهای لرزه‌ای به‌منظور آموزش شبکه به روش رگرسیون مرحله‌ای تعیین گردید. از شبکه آموزش دیده در برآورد کردن نگار تخلخل موثر استفاده شد. مراحل این کار در نرم‌افزار همپسون- راسل صورت پذیرفت و درنهایت یک نقشه توزیع تخلخل به‌دست آمد. در این تحقیق شباهت تخلخل منطقه مورد بررسی را نسبت به چاهی با تخلخل زیاد از طریق نقشه شباهت به‌دست آوردیم. به‌این‌منظور از چهار نشانگر مستقل و مناسب برای تعیین تخلخل استفاده شد. برای هر نشانگر نقشه شباهت جداگانه‌ای تهیه کردیم و در آخر با جمع این نقشه‌ها به نقشه شباهت رسیدیم و با بررسی روند دو نقشه از نتیجه کار نیز مطمئن شدیم. نقشه شباهت آنالیزی ساده است که بدون پیچیدگی خاص یا داشتن نیاز به نگارهای چاه‌پیمایی، به آنالیز نشانگرها می‌پردازد. این آنالیز ابزار قدرتمندی برای تکمیل کار اکتشافی و توصیف مخزن از راه بارز ساختن مناطق با پتانسیل زیاد است و به تایید نتایج تحقیقات قبلی که نقاط امیدوارکننده را مشخص کرده است، می‌پردازد.

منابع

ساطعی، و. و مختاری، م.، ۱۳۸۸، انجام برگردان داده‌های لرزه‌ای بازتابی و تاثیر آن در تخمین تخلخل در سازند بورگان در یکی از میادین نفتی جنوب غرب ایران، فصلنامه زمین، **۴**(۴)، ۳۹-۴۶.

عدالت، ع. و سیاه‌کوهی، ح. ر.، ۱۳۸۶، استفاده از رخساره‌های لرزه‌ای در توصیف یکی از مخازن نفتی ایران، مجله ژئوفیزیک ایران، **۱**(۱)، ۳۷-۴۹.

عدالت، ع.، سیاه‌کوهی، ح. ر. و توکلی مقدم، ر.، ۱۳۸۸، برآورد کردن تخلخل موثر مخزن با استفاده از تحلیل چندنشانگری، مجله ژئوفیزیک ایران، **۳**(۱)، ۱-۱۸.

Al-mogbel, A. M. S., 2002, Reservoir characterization using seismic reflectivity and attributes: M.Sc. thesis, Massachusetts Institute of Technology.

Cornish, B. E., and King, G. A., 1988, Combined interactive analysis and stochastic inversion for high resolution reservoir modeling: Presented at the 50th EAEGMeeting, EAEG.

Graebner, R., and Wason, H. M., 1981, Three dimensional methods in seismic exploration: science, **211**,535-540.

Hampson, D. P., Schuelke, J. S., and Quiirein, J.A., 2001, use of multiattributes transforms to predict log properties from seismic data: geophysics, **66**, 220-236.

Leipart, D. J., Hart, B. S., 2001, Comparison of linear regression and a probabilistic neural network to predict porosity from 3D seismic attributes in Lower Brushy Canyon channeled sandstones, southeast New Mexico, Geophysics, **66**, 1349-1358.

Michelena, R. J., Gonzalez, S. M., and Capello,

M., 1998, Similarity analysis: anew tool to summarize seismic attributes information: The Leading Edge, **17**, 545-548.

VerWest, B., Masters, R., and Sena, A., 2000, Elastic impedance inversion: 70th SEG meeting, calgary, 1580-1582.