

بررسی عوامل کنترل کننده کیفیت مخزنی با استفاده از داده‌های لرزه‌ای در میدان نفتی شادگان

ایرج مداحی^{۱*}، ناصر کشاورز^۱، اصغر نادری^۱، مصطفی حیدری^۱ و سجاد اسماعیل پور^۱

^۱ کارشناس ارشد ژئوفیزیک، پژوهشگاه صنعت نفت، تهران، ایران

(دریافت: ۹۱/۲/۱۳، پذیرش نهایی: ۹۱/۱۰/۵)

چکیده

در این تحقیق به منظور برآورد مشخصات مخزن و بررسی‌های رخساره‌ای در میدان شادگان، ابتدا سرسازند سروک و بخش‌های بالایی آن به‌منزله لایه‌های مخزنی هدف، تفسیر ساختمانی شد و سپس با اعمال روش‌های وارون‌سازی لرزه‌ای، نشانگر مقاومت صوتی لایه‌های پیش‌گفته استخراج شد. با به‌کارگیری روش‌های آماری و شبکه‌های عصبی مصنوعی پارامترهای مخزنی تخلخل و سیری (اشباع) شاره در لایه‌های مخزنی سازند سروک مورد بررسی قرار گرفت و نقشه توزیع آنها تهیه شد. تحلیل نتایج و بررسی نقشه‌های مقاومت صوتی، تخلخل مفید، سیری شاره و مقدار هیدروکربور نشان داد که زون‌های مخزنی گروه بنگستان محدود به بخش‌های سروک ۲ و سروک ۴ است که دارای تغییرات رخساره‌ای هستند؛ به‌طوری‌که این تغییرات در گستره مکانی باعث تفکیک جانبی زون‌های مخزنی به دو بخش کاملاً مجزای رسوبی با AI و میزان تخلخل کاملاً متفاوتی شده است. وقتی که این تغییرات رخساره‌ای و مقدار تخلخل در کنار سیری شاره مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت مشخص شد که مخازن گروه بنگستان در میدان شادگان تحت‌تأثیر تغییرات رخساره‌ای‌اند و به دو بخش شمال غربی و جنوب شرقی تقسیم می‌شوند که بخش شمال غربی، دارای پتانسیل مخزنی بیشتری است. با توجه به نتایج این طرح، مخازن سازند سروک در این میدان از نوع مخازن چینه‌ای ارزیابی می‌شوند و تغییرات رخساره‌ای درحکم عامل اصلی کنترل‌کننده کیفیت مخزنی آنها در نظر گرفته شده است. لذا برای توسعه و حفاری‌های جدید، بخش شمال غربی میدان و زون‌های مخزنی ۲ و ۴ پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: رخساره، تخلخل، سیری آب، نشانگر لرزه‌ای، کیفیت مخزن، میدان شادگان

Study of reservoir quality controller factors using seismic data

Maddahie, I.¹, Keshavarz, N.¹, Naderi, A.¹, Heidari, M.¹ and Esmaeilpour, S.¹

¹Research Institute of Petroleum Industry, Tehran, Iran

(Received: 02 May 2012, Accepted: 25 Dec 2012)

Abstract

Sarvak Formation is deposited between overlaying Ilam Formation and underlying Daryian Formation spanning in time from Albian to Turonian in Dezful Embayment. This formation has an overall thickness of 500 m consisting of intermittent limestone and inter-bedding shaly limestone in Shadegan Oilfield and the upper parts have reservoir qualities. In current reservoir characterization practice, after structural interpretation, correlation between reservoir properties and seismic attributes at well locations were firstly derived by statistical and neural network technics. Then this is and applied to seismic data accordingly and the reservoir parameters such as porosity and fluid saturation were expanded to seismic data and analyzed laterally and vertically.

In reservoir parameters estimation workflow, aside from internal seismic attributes, seismic acoustic impedance was also utilized that was indirectly constructed by seismic inversion from seismic amplitudes and well log data. Different seismic inversion technics

were tested in Strata software in order to achieve the most credible seismic acoustic impedance volume. According to this analysis and considering conformity of the resulted values at well locations, Model Based inversion technic was finally selected as better correlation was observed between well log values and inverted results using this method. As the result, Model Based Inversion was chosen for computing acoustic impedance volume.

Estimation of effective porosity as one of important reservoir properties was carried out from seismic data and well log data of well 2 and 13 using multi-regression and artificial neural network technics. Sensitivity analysis which was conducted to obtain the optimum combination of seismic attributes showed that adding any other attributes to acoustic impedance is not conducive to better results in this project and will increase estimation error. The final correlation between effective porosity and seismic attribute is about 60 percent.

For fluid saturation estimation, another sensitivity analysis was carried out after extracting different seismic attributes. Finally, the most correlated seismic attribute and fluid saturation at well location is the Average Frequency. After this single attribute analysis, multi-attribute analysis was conducted to find the optimum combination of seismic attributes in estimation of fluid saturation. The result shows a maximum correlation of 52 percent between values of $1/AI$ and Quadrature Trace.

Artificial neural network methods are recently the center of notice for many researchers with regard to their non-linear nature of finding weights of estimation equation. Conducting several neural network techniques in this project showed that PNN technic contains the most effective training and estimation of water saturation. Using this method showed better correlation of 57 percent and error of 0.175 which is a slightly better estimation in comparison with the previous method. Finally this method was used for the estimation of water saturation throughout the reservoir volume.

Visualization and analysis of maps and volumes generated for reservoir parameters showed that reservoir zones pertaining to Bangestan Group are limited to Sarvak zone 2 and 4 in this field. Moreover, study of seismic attributes especially AI suggested that aforementioned reservoir zones have experienced facies variation in a way that there is two distinct facies zones with completely different AI values. Meaningful and conspicuous reduction in effective porosity in reservoir zone from north-west to south-east is also solid evidence ascribed to facies variation in this field. Importance of this issue was even more accentuated when these variations was juxtaposed to fluid saturation.

Simultaneous analysis of these three pieces of information showed that firstly Bangestan reservoir group in Shadegan field is under control of spatial facies variation and secondly this resulted into relatively distinct separation of north-west/south-east reservoir parts with better reservoir quality in the north-west part. Sarvak zone 2 has good reservoir quality and accumulation of hydrocarbon in north-east and also central regions but poor reservoir quality and no considerable hydrocarbon accumulation in south-west parts. Finally, this study shows that the Sarvak reservoir zones in this field should be deemed stratigraphic as facies variations is a major factor in the reservoirs quality, so in the field development it is suggested that drilling of layers Sarvak 2 and 4 in the north-west part of field should be a priority.

Keywords: Facies, Porosity, Water saturation, Seismic attribute, Reservoirs quality, Shadegan field

۱ مقدمه

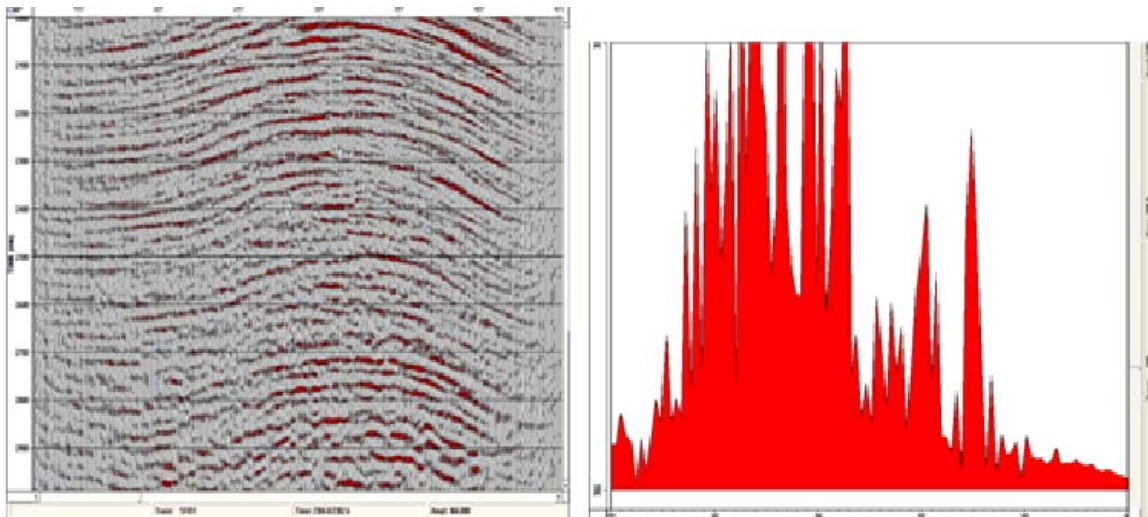
بینابینی است. شاید بتوان گفت که پایه و اساس توصیف مخزن، تحلیل داده‌ها بوده و طی آن می‌باید به عدم قطعیت‌های ناشی از مقیاس‌بندی‌های متفاوت ناشی از تنوع داده‌ها توجه کافی شود (امره آرتون و همکاران، ۲۰۰۵). طی این فرایند ابتدا با کمک روش‌های آماری و شبکه‌های عصبی مصنوعی، روابط بین نشانگرهای لرزه‌ای و پارامترهای مخزنی در محل چاه‌ها استخراج و با اعمال آن روی داده‌های لرزه‌ای، پارامترهای مخزنی تداخل و سیری شاره به محدوده داده‌ای لرزه‌ای بسط داده شدند و سپس مورد ارزیابی‌های زمانی و مکانی قرار گرفتند.

۲ داده‌ها و اندازه‌گیری‌ها

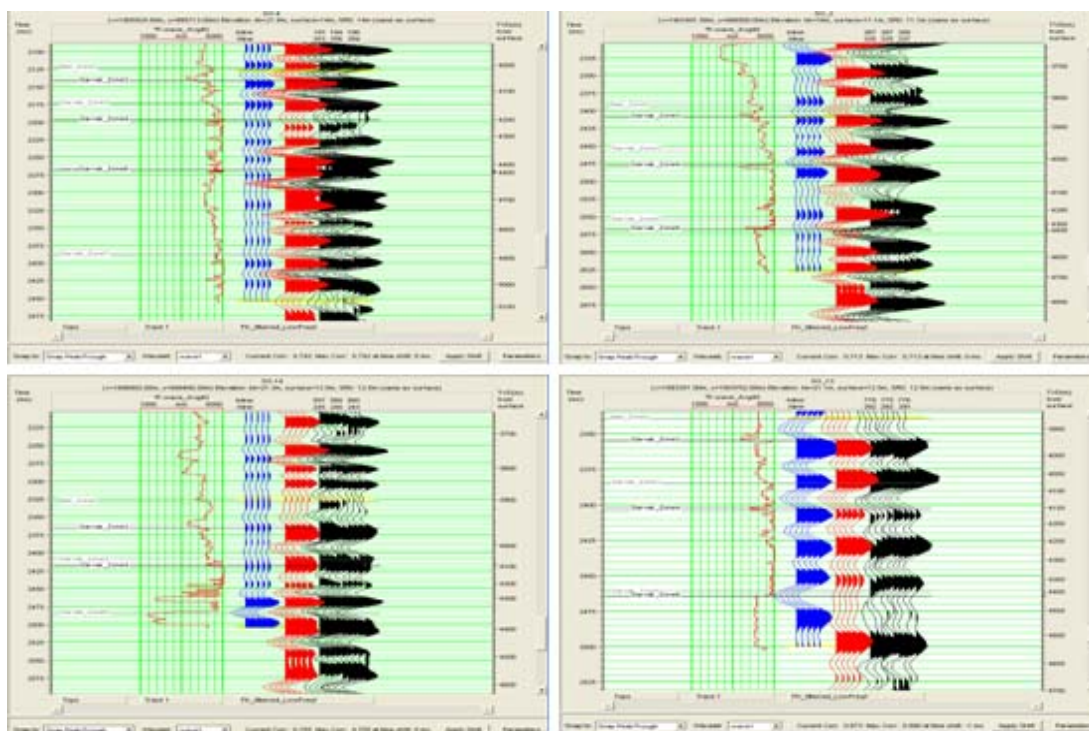
داده‌های مورد استفاده شامل داده‌های لرزه‌ای سه‌بعدی با فرمت SEG-Y، ۱۶ بیتی کوچ داده شده با فلوی پردازش بعد از برانبارشی است و از نظر کیفیت در محدوده عمقی مورد بررسی (گروه بنگستان) در حد متوسط ارزیابی می‌شود. محتوای بسامدی و دامنه آن در شکل ۱ نشان داده شده است.

در ستون چینه‌شناسی ناحیه فروافتاده دزفول، سازند سروک بین سازند ایلام در بالا و سازند داریان در پایین قرار گرفته و سن آن از آلبین تا تورونین است. در میدان نفتی شادگان این سازند با ضخامت بالغ بر ۵۰۰ متر، متشکل از توالی ضخیمی از سنگ آهک و میان‌لایه‌های آهک شیلی و در بخش‌های بالایی، دارای خصوصیات مخزنی است.

امروزه به دلیل محدودیت موجود در تعمیم مشخصات مخزنی حاصل از چاه، به کارگیری داده‌های لرزه‌ای با پوشش سطحی زیاد و شیوه‌های غیرمستقیم، در برآورد و ارزیابی مشخصات مخازن اهمیت زیادی پیدا کرده است و عامل مهمی در پایین آوردن مخاطره موجود در حفر چاه‌های جدید به نظر می‌رسد. ترکیب داده‌های با مقیاس متفاوت را می‌توان یکی از چالش‌های اساسی در توصیف مخازنی دانست که از منابع متفاوت به دست آمده‌اند. مغزه‌های نفتی اطلاعات با توان تفکیک زیاد تولید می‌کنند درحالی‌که داده‌های لرزه‌ای توان تفکیک کمی دارند و داده‌های حاصل از نگاره چاهی نیز در حالت



شکل ۱. مقطع دامنه لرزه‌ای از افق بنگستان و طیف دامنه بسامدی در همان مقطع.



شکل ۲. عمل انطباق لرزه‌نگاشت چاهی با داده‌های لرزه‌ای با تطابق بالای ۷۰ درصد.

زیرسطحی با استفاده از داده‌های لرزه‌ای و نگارهای چاهی (سکومونو، ۲۰۰۰) است. علی‌رغم اینکه این روش در صنعت نفت از ۱۹۸۰ به کار گرفته شده است ولی به دلیل پیچیدگی‌های آن تا قبل از ۱۹۹۰ کاربرد زیادی پیدا نکرد تا اینکه هم‌زمان با رشد سریع فناوری رقمی به منزله یکی از روش‌های عملی و مهم در صنعت، جای خود را پیدا کرد (همسون و راسل، ۲۰۰۶). در این روش پاسخ‌های لرزه‌ای یا همان ردلرزه‌ای طی یک فرایند وارون‌سازی با الگوریتم‌های ریاضی به مدل زمین برگردانده می‌شوند.

به‌طور کلی وارون‌سازی لرزه‌ای در دو مرحله پیش از برانبارش و پس از برانبارش می‌تواند صورت گیرد. روش‌های وارون‌سازی پس از برانبارش شامل روش‌های مبتنی بر مدل (Model Based)، روش بازگشتی (Band Limited) و روش خارهای پراکنده (Spars-Spike) هستند درحالی‌که در روش‌های پیش برانبارش از اثرهای AVO و توموگرافی (Tomography) سرعت در مقاطع و

از تعداد چهار حلقه چاه این میدان که در گروه بنگستان نفوذ کرده‌اند و اطلاعات زمین‌شناسی و پتروفیزیکی آنها نیز مورد استفاده قرار گرفته، فقط چاه شماره ۱۴ حاوی اطلاعات سرعت (چک شات) است که اندازه‌گیری‌های آن، در فواصل ۱۵ متری صورت گرفته است. با این حال با بررسی نمودارهای زمان-عمق به دست آمده از نمودارهای سونیک و چک‌شات پیش‌گفته و مشاهده انطباق خوب بین آنها، امکان تصحیح نمودارهای زمانی-عمقی در چاه‌های دیگر فراهم شد و در نهایت عمل تطابق داده‌های چاهی و داده‌های لرزه‌ای با درصد بالایی در هر چهار چاه میدان صورت گرفت که نتایج آن در شکل ۲ نشان داده شده است.

۳ روش تحقیق و محاسبات

۱-۳ وارون‌سازی لرزه‌ای

وارون‌سازی لرزه‌ای روشی برای تولید مدل زمین‌شناسی

حجم‌های لرزه‌ای و آرونی‌سازی شده استفاده می‌شود.

۳-۲ آرونی‌سازی پس از برانبارشی

اساس روش‌های آرونی‌سازی لرزه‌ای پس از برانبارشی، تولید نشانگر مقاومت صوتی است که به‌طور غیرمستقیم از داده‌های لرزه‌ای و نمودارهای چاهی به‌دست می‌آید. اصولاً آرونی‌سازی پس از برانبارش به دو روش اصلی زیر قابل تفکیک است:

۱- آرونی‌سازی باند بسامدی محدود (Band Limited)

۲- آرونی‌سازی باند مرزی شامل روش خارهای پراکنده

(Spars-Spike) و روش مبتنی بر مدل (Model Based)

آرونی‌سازی مقاومت صوتی دارای محدودیت‌هایی است و نیز نتایج آن یکتا و منحصر به فرد نیست. در همه این روش‌ها استخراج موجک و اطلاعات آن اهمیت اساسی دارد. اگر موجک چشمه لرزه‌ای در دسترس نباشد با فرض اینکه در حوزه بسامد موجک چشمه با دو پارامتر طیف دامنه و طیف فاز تعیین می‌شود، می‌توان با تعیین طیف دامنه از همبستگی تابع داده‌ها که فرض معمول بازتاب‌پذیری تصادفی است (شریف و گلدارت، ۱۹۹۵) و به‌کارگیری فاز، با استفاده از آرون FFT و روش‌های میانگین‌گیری، کمترین مربعات و مانند آن به محاسبه موجک لرزه‌ای دست یافت. البته می‌توان با انتخاب پنجره زمانی مناسب از بازتابنده‌های قوی و داده‌های VSP در استخراج شکل موجک دقت بیشتری به عمل آورد. استخراج موجک از داده‌های لرزه‌ای به‌تنهایی روش بی‌عیبی نیست و لذا به این منظور، از نگاره‌های چاهی صوتی و چگالی در محل چاه استفاده خواهد شد.

۳-۲-۱ آرونی‌سازی بازگشتی

آرونی‌سازی بازگشتی (Band limited) روشی کلاسیک و ساده است و در آن از روابط بین ضریب بازتاب و مقاومت صوتی دو محیط استفاده می‌شود. لاینده‌س

(۱۹۷۹) روشن ساخت که اگر رابطه بین ضریب بازتاب و

مقاومت صوتی دو لایه به‌صورت زیر تعریف شود:

$$R_i = \frac{Z_{i+1} - Z_i}{Z_{i+1} + Z_i} \quad (1)$$

که در آن، Z_i ضریب بازتاب لایه i ام و Z_{i+1} ضریب بازتاب لایه $i+1$ هستند،

با تبدیل معادله فوق می‌توان مقاومت صوتی لایه‌های بعدی را به روش بازگشتی به‌دست آورد.

$$R_{i+1} = \frac{2Z_{i+1}}{Z_{i+1} + Z_i} \quad (2)$$

$$Z_{i+1} = Z_i \left(\frac{1+R_i}{1-R_i} \right) \quad (3)$$

$$1 - R_i = \frac{2Z_i}{Z_{i+1} + Z_i} \quad (4)$$

رابطه (۳) درحکم پایه و اساس روش‌های آرونی‌سازی بازگشتی مطرح و بیان‌کننده این مطلب است که اگر مقاومت صوتی و ضریب بازتاب در لایه‌ای معلوم باشد، می‌توان مقاومت صوتی لایه بعدی را محاسبه کرد.

روش بازگشتی را بعداً برتسون و اورینسن (۱۹۹۵) بر پایه این واقعیت که تابع سری ضرایب بازتاب $I(t)$ را به‌صورت پیوسته نیز می‌توان نوشت، به‌صورت رابطه لگاریتمی زیر، برای تقریب پیوسته آرونی‌سازی بازگشتی بیان کردند:

$$I(t) = \frac{Z(i+dt) - Z(i)}{Z(t+dt) + Z(t)} = \frac{1}{2} \frac{dZ(t)}{Z(t)} \quad (5)$$

که در آن، $Z(t)$ مقاومت صوتی در لحظه t و $Z(t+dt)$ برابر با مقاومت صوتی در لحظه $(t+dt)$ است.

آنان درنهایت فرمول آرونی‌سازی بازگشتی را به روش پیوسته زیر عرضه کردند:

$$Z(t) = Z(0) \exp \left(2 \int_0^t r(t) dt \right) \quad (6)$$

تقریب فوق وقتی که ضرایب بازتاب بین $+0.3$ و -0.3 باشد معتبر است و اگر این ضرایب بین $+0.1$ و -0.1 در نظر گرفته شوند، رابطه به‌صورت زیر در می‌آید:

$$r(t) = \frac{1}{2} \frac{dZ(t)}{Z(t)} \quad (7)$$

$$Z(t) = 2Z(0) \int_0^t r(t) dt \quad (8)$$

مدل متکی بر همامیخت است و در صورت وجود نوفه ناهمدوس، می‌توان از آن در یافتن پدیده بازتاب‌پذیری استفاده کرد.

از مهم‌ترین پارامترهای متغیر در این روش می‌توان به اندازه بلوک‌های مقاوت صوتی و تعداد تکرار اشاره کرد، به طوری که هر چه اندازه بلوک‌ها کوچک‌تر باشد، نتیجه نهایی و انطباق با داده‌های واقعی منطقی‌تر خواهد بود.

از جمله معایب این روش می‌توان به حساسیت و وابستگی زیاد آن به موجک اشاره کرد. همچنین مزایای این روش، حل شدن کامل معادله، شناسایی خطاها در حین حل مسئله و مدل‌سازی بازتاب‌های تکراری است.

۳-۲-۳ وارون‌سازی به روش خارهای پراکنده

در این نوع وارون‌سازی که در پهنای بانندی کامل صورت می‌پذیرد، فرض بر این است که موجک لرزه‌ای کاملاً شناخته شده است و سری بازتابی زمین نیز از یک دسته رخدادهای بزرگ برهم نهشته شده، در زمینه گاوسی از رخدادهای کوچک‌تر تشکیل شده است. در واقع هدف از این نوع وارون‌سازی، بازسازی یک مدل مقاوت صوتی با بازتاب‌پذیری پراکنده و قدرت تفکیک زیاد است که با به حداقل رساندن خطاهای بین داده‌های واقعی و مدل‌سازی شده صورت می‌گیرد. در این روش از داده‌های لرزه‌ای به طور مستقیم در ساخت مدل مقاومت صوتی استفاده می‌شود، لذا در صورت نوفه‌دار بودن داده‌ها، نتایج به شدت تحت تاثیر قرار می‌گیرد. همچنین نوع توزیع در نظر گرفته شده برای پارامترهای مدل، به منظور بازیابی بسامدهای زیاد مهم است و اولدبرگ و همکاران (۱۹۸۳) از توزیع نمایی و تارانتولا (۱۹۸۷) از تابع توزیع کوشی برای بازیابی این ضرایب استفاده کرده‌اند. چربونیر و همکاران (۱۹۹۷) روشن ساختند که تابع توزیع کوشی اصلاح شده، بهترین توزیع ممکن در وارون‌سازی خارهای پراکنده است.

یکی از محدودیت‌های اصلی این روش اثر بسامد محدود موجک با باند محدود است که در آن اجزای بسامدهای پایین و بالای بازتاب‌ها تضعیف می‌شود و یا از بین می‌رود و لذا بازتاب‌پذیری به شدت به محدوده بانندی بستگی خواهد داشت و مولفه‌های بالا و پایین بسامدی از دست می‌روند (همپسون راسل، ۲۰۰۶)، هرچند که با به کارگیری لاگ‌های صوتی، مدل زمین‌شناسی و روش‌های تحلیل سرعت، تا حدی می‌توان بسامدهای پایین را بازسازی کرد.

۳-۲-۲ وارون‌سازی مبتنی بر مدل

این روش را اولین بار کوک و اشنایدر (۱۹۸۳) معرفی کردند. اساس این روش بر پایه رفتار زمین به صورت بلوک‌های مقاوت صوتی استوار است. در این روش، ابتدا یک مدل اولیه مقاوت صوتی از نمودارهای چاه (نمودارهای چگالی و صوت) تهیه می‌شود و سپس به روش وارون‌سازی (Generalized Linear Inversion) GLI و تکرار آن سعی می‌شود اختلاف بین مدل اولیه و داده‌های لرزه‌ای به حداقل رسانده شود. تابع ریاضی برای رسیدن به کمترین تفاضل موردنظر، به صورت زیر خواهد بود:

$$J = \text{Weight}_1 x (T - W * RC) + \text{Weight}_2 x (M - H * RC) \quad (9)$$

که در آن، T لرزه‌نگاشت مصنوعی، RC ضرایب بازتاب نهایی، M برآورد مدل مقاوت صوتی اولیه، W دامنه موجک و H میزان یکپارچه‌سازی همامیخت ضرایب بازتاب نهایی برای رسیدن به مقاوت صوتی نهایی است. این روش نسبت به روش‌های بازگشتی، به مدل اولیه و موجک حساس‌تر است (ژنهورازون، ۲۰۰۲) و نیز برخلاف روش خارهای پراکنده، اطلاعات مربوط به ضرایب بازتاب به طور مستقیم از لرزه‌نگاشت‌ها به دست نمی‌آید و لذا به نوفه موجود در داده‌های لرزه‌ای چندان حساس نیست (راسل، ۱۹۸۸). روش وارون‌سازی مبتنی بر

$$P(d|m) = \frac{p^{1-1/p}}{2\sigma_p \Gamma(\frac{1}{p})} \exp\left[-\frac{1}{p} \frac{|d-Lm|^p}{(\sigma)^p}\right] \quad (14)$$

در رابطه فوق با قرار دادن ۱ و یا ۲ برای p می‌توان راه حلی با نرم‌های L_1 و L_2 را به دست آورد.

از جمله معایب روش خارهای پراکنده می‌توان به کاهش جزئیات در خروجی نهایی اشاره کرد، چرا که فقط مولفه‌های بلوکی در آن وارون‌سازی می‌شود. از مزایای این روش می‌توان به وارد شدن داده‌های مشاهده‌ای در محاسبات و نیز اطلاعات بسامد کم در حل معادلات اشاره کرد.

در تحقیق حاضر پس از وارون‌سازی لرزه‌ای به روش‌های مبتنی بر مدل، باند محدود و خارهای پراکنده و محاسبه میزان انطباق (Correlation) مقادیر اولیه و مقادیر محاسبه شده در هر سه روش و نیز محاسبه خطای وارون‌سازی در نقاط چاهی میدان، مشخص شد که مقادیر مقاومت صوتی محاسبه شده با روش مبتنی بر مدل، نسبت به دو روش دیگر دارای تطابق بهتری با مقادیر نمودارهای چاهی اولیه است (شکل ۳). لذا در ادامه از روش مبتنی بر مدل برای وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای میدان استفاده شد. به‌طور خلاصه در این روش ابتدا یک مدل اولیه مقاومت صوتی بر اساس مقادیر نمودار سرعت صوت (موج p) و نمودار چگالی ساخته شد، سپس مدل ساخته شده در نقاط چاهی کنترل شد و با مشاهده همبستگی خوب آن با داده‌های چاهی، اقدام به وارون‌سازی لرزه‌ای و بهینه کردن مدل ساخته شده صورت گرفت.

۳-۳ برآورد تخلخل مفید مخزن

در این پژوهش، برآورد تخلخل مفید درحکم یکی از پارامترهای مخزنی مهمی که کاربرد اساسی در توسعه میدان نفت و گاز دارد با استفاده از روابط رگرسیون چندگانه و شبکه‌های عصبی مصنوعی صورت پذیرفت.

مزیت وارون‌سازی به روش خارهای پراکنده در استفاده از روش‌های کلاسیک و اهم‌میخت است، چرا که در این روش برآورد خارهای پراکنده با استفاده از برون‌یابی کل باند بازتاب‌پذیری صورت می‌پذیرد.

به‌طور کلی یافتن مدلی بین داده‌های لرزه‌ای $x(t)$ و موجک $w(t)$ در حکم ورودی و تابع مقاومت صوتی $z(t)$ در حکم خروجی هدف این نوع وارون‌سازی لرزه‌ای است و رابطه بین داده‌ها و مدل را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$Lm+n=d \quad (10)$$

که در آن، عملگر L، مدل را به داده‌ها ارتباط می‌دهد. این مدل را می‌توان به صورت تابع احتمال $p(m|d)$ بیان کرد که احتمال رخداد مدل وابسته به داده‌های مشاهده‌ای است که با رابطه زیر بیان می‌شود:

$$P(m|d) = \frac{p(d|m)p(m)}{p(d)} \quad (11)$$

که در آن، $p(d)$ و $p(m)$ به ترتیب اطلاعات اولیه از داده‌های مشاهده‌ای و مدل هستند.

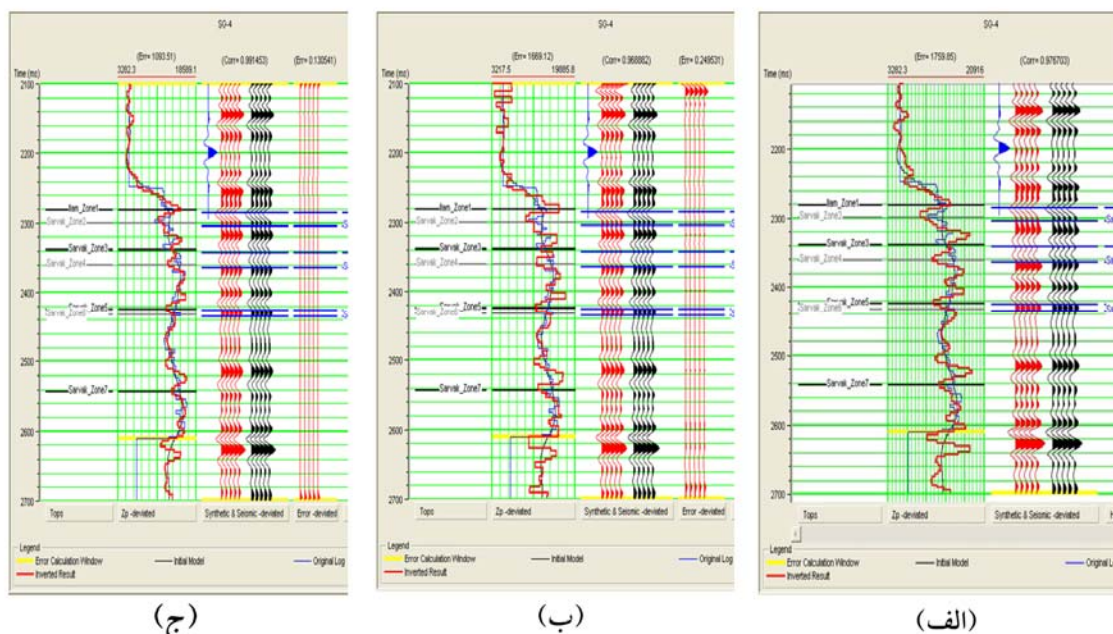
برای ساخت یک مدل بر پایه احتمال $p(m|d)$ باید راه‌حلی را جست‌وجو کرد که احتمال وقوع آن رخداد را بیشینه کند. به عبارت دیگر تابع هدف ما کمینه کردن رابطه زیر خواهد بود:

$$-\log p(m) = \log p(d|m) \quad J = -\log p(m|d) \quad (12)$$

که در آن، عبارت $\log p(d)$ با توجه به ثابت بودن مقدار آن حذف شده است. اطلاعات اولیه مدل به صورت یک قید عمومی داده شده و در آن $S(m)$ تابع توزیع احتمال است که بی‌نظمی بیشینه را به دست می‌دهد:

$$P(m) = Ae^{-s(m)} \quad (13)$$

و A نیز ثابت نرمال‌سازی است. با فرض مدل‌سازی تعمیم یافته گاوسی، احتمال $p(d|m)$ را می‌توان به مثابه تابعی از خطای بین داده‌های مشاهده‌ای و مدل بیان کرد:



شکل ۳. وارون سازی مقاومت صوتی در چاه ۴ به روش های: (الف) Band Limited، (ب) Spar Spike و (ج) Model Base

نشانگرها، مربوط به نشانگر مقاومت صوتی (AI) و تخلخل آن مفید بوده است.

در تحلیل حساسیت چندنشانگری، به منظور یافتن بهترین ترکیب نشانگرها در برآورد، همان طور که در جدول ۱ مشاهده می شود، افزودن نشانگرهای دیگر به نشانگر AI، باعث افزایش خطای برآورد شد و نتیجه بهتری را رقم نزد. بنابراین در به کارگیری روش چندنشانگری، فقط از نشانگر لگاریتم مقاومت صوتی برای برآورد تخلخل مفید استفاده شد. چنانچه در شکل ۴ دیده می شود در این روش برازش بین نمودارهای تخلخل مفید و نشانگرهای لرزه ای همبستگی حدود ۶۰٪ را نشان می دهد. به کارگیری رابطه استخراج شده بین تخلخل مفید و مقاومت صوتی نشان داد که برآورد تخلخل در نقاط چاهی دیگر با خطای ۳/۳٪ قابل پیش بینی است. در شکل ۵ روند خطی بین مقادیر واقعی و برآورد شده، نشان دهنده ارتباط این مقادیر و بیانگر امکان استفاده از رابطه فوق برای برآورد پارامتر تخلخل مفید در کل میدان است.

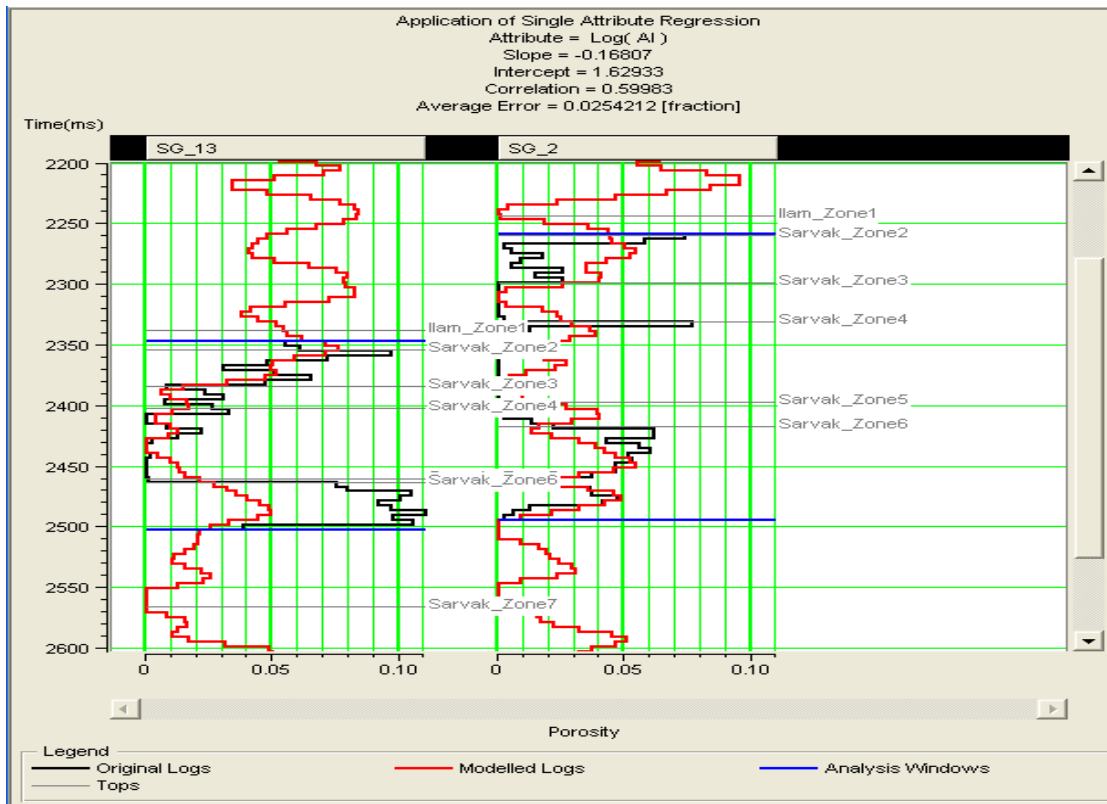
بررسی نمودارهای چاهی تخلخل مفید نشان داد که مقادیر تخلخل در چاه شماره ۴ بسیار کم و نیز روند کلی آن نسبت به سایر چاه های میدان متفاوت است. لذا به منظور عملی ساختن یک برازش علمی درست و ممانعت از افزایش خطای برآورد، ناگزیر به حذف این چاه از داده های ورودی شدیم. همچنین پس از تحلیل های برآورد و با توجه به کیفیت ضعیف داده های لرزه ای در حوالی چاه شماره ۱۴ به این نتیجه رسیدیم که استفاده از داده های این چاه نیز با وجود کیفیت خوب نمودارهای آن، ممکن نیست؛ به طوری که به دنبال استفاده از اطلاعات این چاه، افزایش خطا در محاسبه تخلخل مشاهده می شد. در نهایت برآورد تخلخل مفید در این میدان، فقط با استفاده از داده ها و اطلاعات چاه های شماره ۲ و ۱۳ صورت پذیرفت.

در ادامه به منظور شناسایی نشانگرهایی که بهترین تطابق را با نمودارهای چاهی تخلخل مفید دارند، اقدام به تحلیل تک نشانگری در نرم افزار Emerge شد و نتایج آن روشن ساخت که بیشترین همبستگی نسبت به دیگر

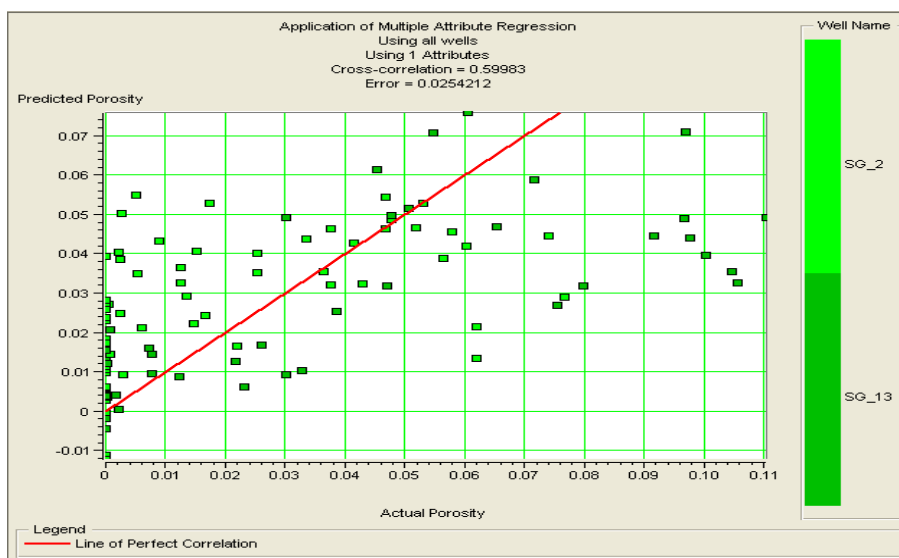
جدول ۱. خطای برآورد با افزودن نشانگرهای لرزه‌ای به نشانگر AI افزایش می‌یابد.

	Target	Final Attribute	Training Error	Validation Error
1	Porosity	Log(AI)	0.025421	0.032867
2	Porosity	Integrated Absolute Amplitude	0.022291	0.043662
3	Porosity	Derivative	0.020621	0.043861
4	Porosity	Instantaneous Frequency	0.018668	0.034553
5	Porosity	Dominant Frequency	0.018108	0.043142
6	Porosity	Filter 55/60-65/70	0.017845	0.051660
7	Porosity	Amplitude Envelope	0.017677	0.050528
8	Porosity	Derivative Instantaneous Amplitude	0.017431	0.040922
9	Porosity	Second Derivative Instantaneous Amplitude	0.016978	0.040880
10	Porosity	Integrate	0.016786	0.039730

There are 10 transforms.



شکل ۴. نمودار ارتباط بین نشانگرهای لرزه‌ای و تخلخل مفید مخزن.

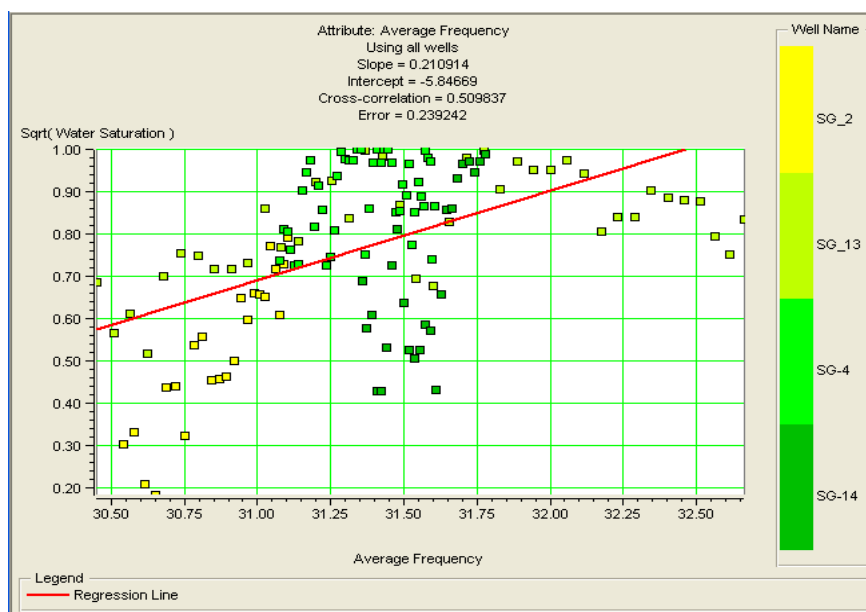


شکل ۵. کراس پلات بین مقادیر واقعی و برآورد شده تخلخل مفید در چاه‌های میدان شادگان.

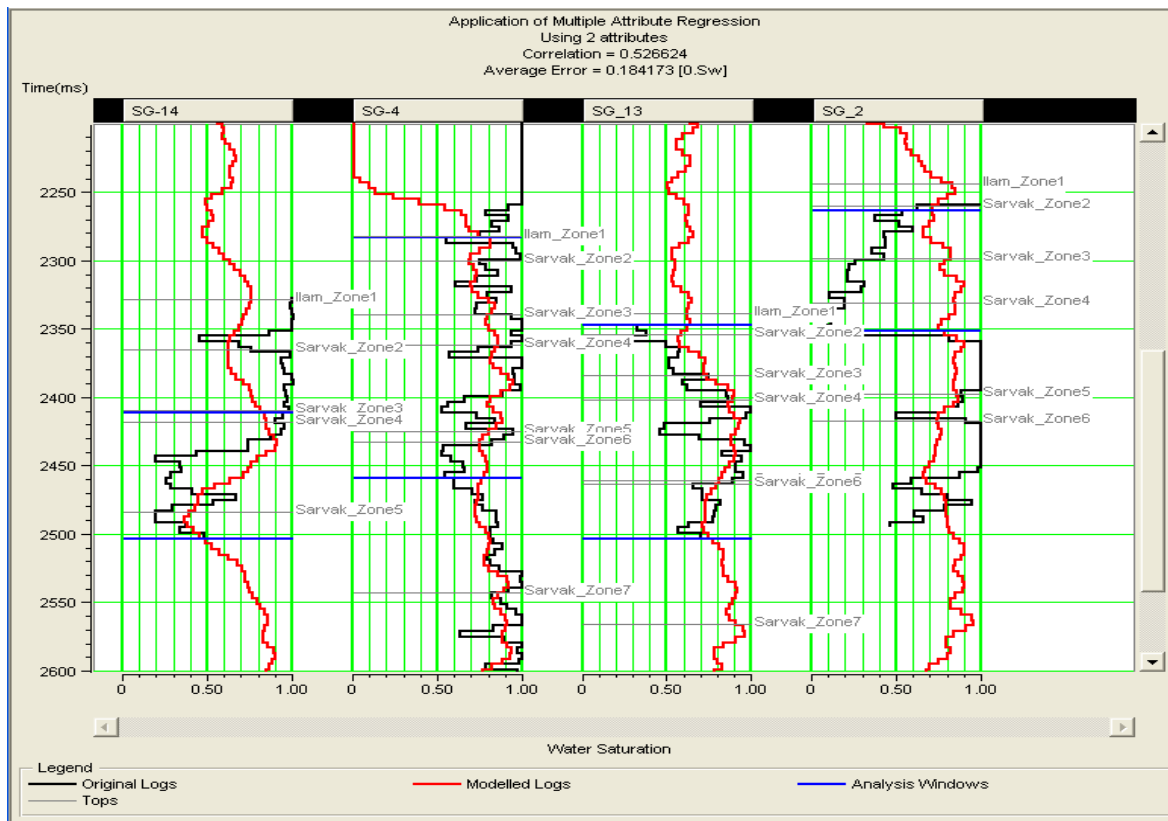
داده شده است. پس از تحلیل تک‌نشانگری و استخراج مناسب‌ترین نشانگرها در پیش‌بینی مقادیر سیری آب، اقدام به تحلیل چندنشانگری و شناسایی بهترین ترکیب نشانگرها در برآورد مقادیر سیری آب شد. چنانچه در شکل ۷ دیده می‌شود، پس از تحلیل چندنشانگری برازش ۵۲ درصدی بین نمودار سیری آب و نشانگرهای AI/1 و Quadrature Trace به دست آمد.

۳-۴ برآورد سیری آب مخزن

با استفاده از ماژول Emerge نرم‌افزار Hampson and Russell ابتدا نشانگرهای لرزه‌ای لازم استخراج و سپس با تحلیل‌های همبستگی و حساسیت بین حدود ۲۰ نشانگر لرزه‌ای و نمودار سیری آب، بهترین برازش برای نشانگر Average Frequency به دست آمد که در شکل ۶ برازش خطی بین این نشانگر و سیری آب در نقاط چاهی نشان



شکل ۶. برازش خطی بین نشانگر Average Frequency و نمودار سیری آب (به ازای همه چاه‌های میدان).



شکل ۷. ارتباط بین نشانگرهای لرزه‌ای با مقادیر سیری آب در چاه‌های میدان به روش ترکیب چندنشانگری.

چندنشانگری در برآورد مقادیر بهبود اندکی ایجاد کرد. نظر به اینکه بهترین نتیجه برآورد با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی به دست آمده بود، در نهایت این روش برای برآورد مقادیر سیری آب در حجم کل مخزن انتخاب شد.

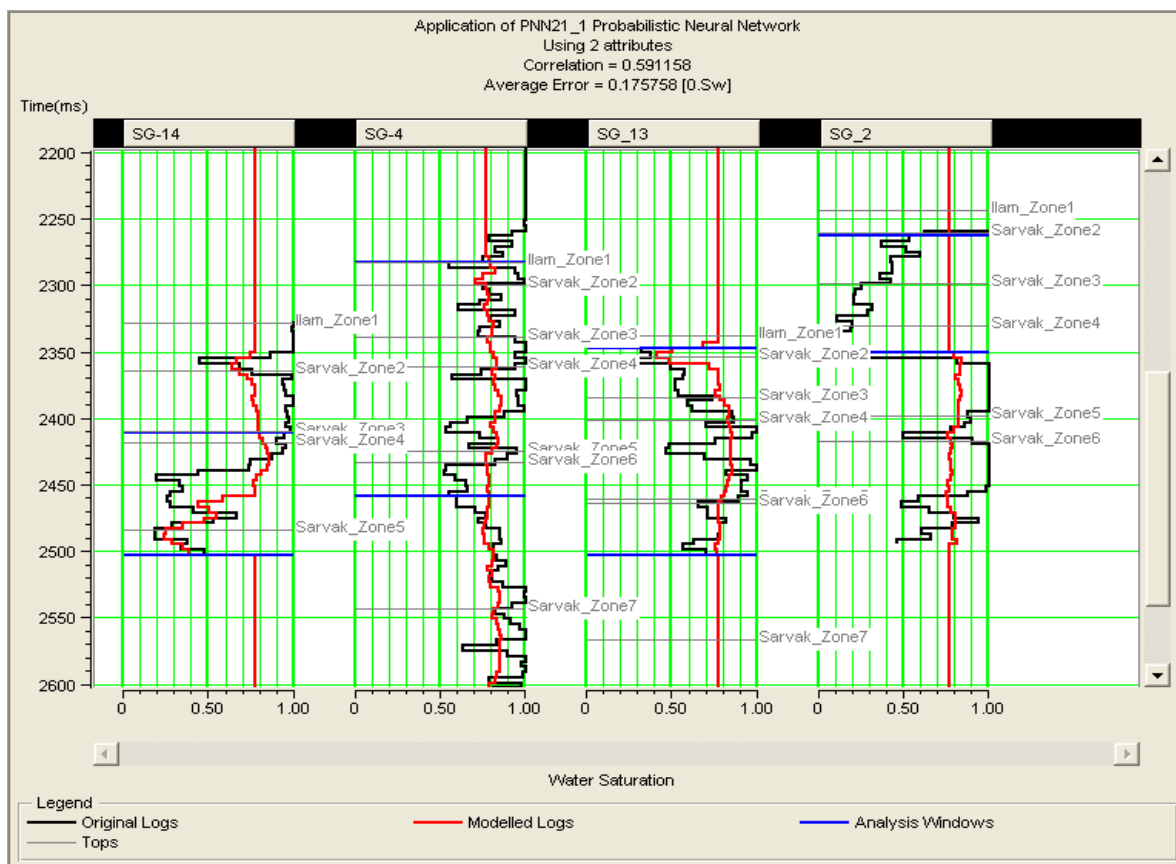
۴ بحث و تحلیل

نظر به اهمیت پارامترهای تخلخل مفید و سیری شاره در تعیین میزان هیدروکربن درجا و کیفیت مخزن، در این تحقیق ابتدا سعی شد با به کارگیری روش‌های ریاضی و روش شبکه‌های عصبی، مقدار تخلخل مفید سنگ مخزن (سازند سروک) در میدان مورد بررسی با به کارگیری اطلاعات زمین‌شناسی و نگاشت‌های چاهی، از داده‌های لرزه‌ای محاسبه و حجم آن به صورت

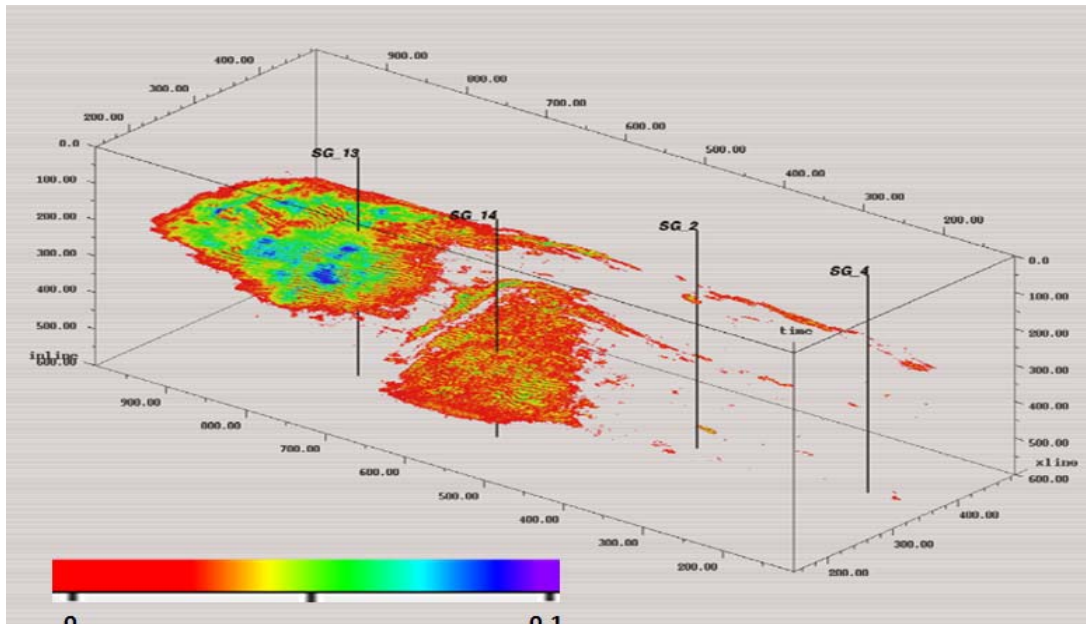
از آنجا که امروزه روش شبکه‌های عصبی مصنوعی راه‌حل دیگری برای برآورد پارامترهای مخزنی در اختیار قرار داده است، لذا از این روش‌ها نیز برای برآورد سیری آب استفاده شد. شبکه‌های عصبی با توجه به طبیعت غیرخطی آنها دریافتن ضرایب (وزن‌های معادله) اخیراً مورد توجه عده زیادی از محققان گرفته است. بر این اساس، سه نوع شبکه عصبی مصنوعی PNN، MLFN و RBF توسعه داده شده است که در این طرح برای برآورد مقادیر سیری شاره، با نتایج تحلیل چندنشانگری آموزش داده شدند. در خلال این تحلیل‌ها مشاهده شد که شبکه PNN بهترین عملکرد آموزشی را دارد و چنانچه در شکل ۸ مشاهده می‌شود، برآورد مقادیر سیری آب با استفاده از این روش با کورلاسیون ۵۹ درصد و خطای ۰/۱۷۵ نسبت به روش

درصد حجم سنگ مخزن مورد بررسی خواهد بود که این مهم در شکل ۹ و به صورت توزیع فضایی نفت درجا در مخازن مورد نظر نشان داده شده است. براساس رابطه پیش گفته توزیع مناطق با پتانسیل هیدروکربوری و در نتیجه کیفیت مخزنی در نواحی مختلف مخزن، مورد محاسبه و ارزیابی قرار گرفت که به صورت سه بُعدی در شکل ۱۵ نشان داده شده است. ارزیابی کیفیت مخزنی در هر ناحیه معمولاً براساس عواملی چون لیتولوژی، نوع رسوب، تغییرات رخساره‌ای، دیاژنز، ویژگی‌های شاره‌ای و پارامترهای تولیدی تعیین می‌شود.

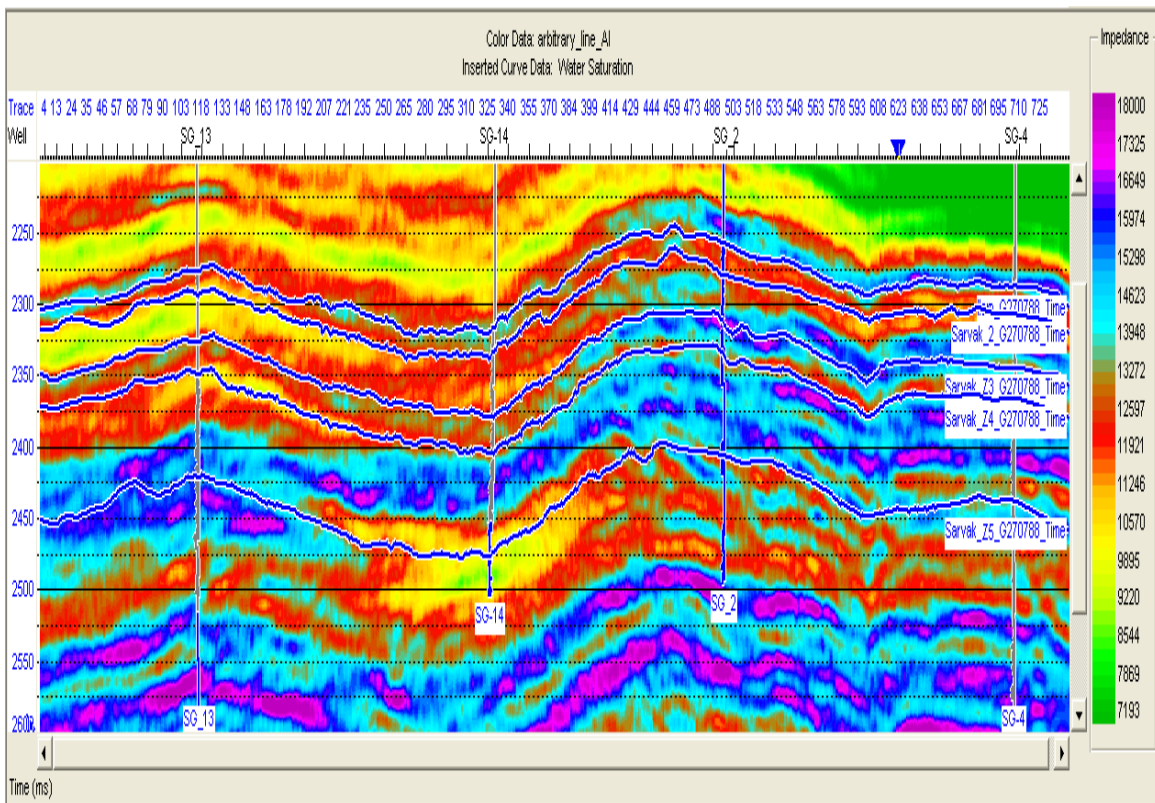
سه بُعدی استخراج شود و سپس با برآورد میزان سیری شاره (SW) مخزن، امکان محاسبه نفت درجا در مخزن پیش گفته فراهم شد. برای محاسبه میزان هیدروکربور در هر نقطه کافی است مقادیر (1-SW) را در تخلخل مفید هر نقطه از سنگ نظیر به نظیر ضرب کنیم. نظر به لیتولوژی کربناته زون‌های مخزنی گروه بنگستان که محدود به بخش‌های سروک ۲ و سروک ۴ است و نیز تخلخل مفید در مخازن پیش گفته که حداکثر ۱۰ درصد و نیز حداقل سیری آب که در حدود ۲۰ درصد است، حداکثر حاصل ضرب فوق یعنی مقدار هیدروکربن درجای مخزن برابر با ۸



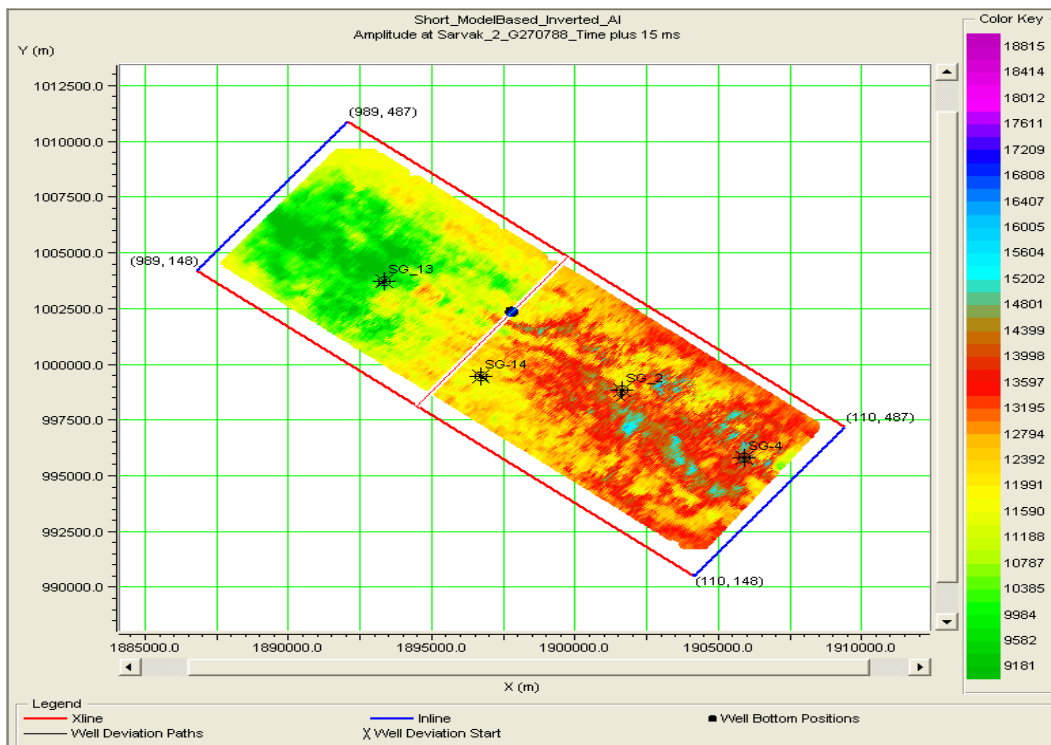
شکل ۸. برآورد مقادیر سیری آب در محل چاه‌های میدان با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی PNN.



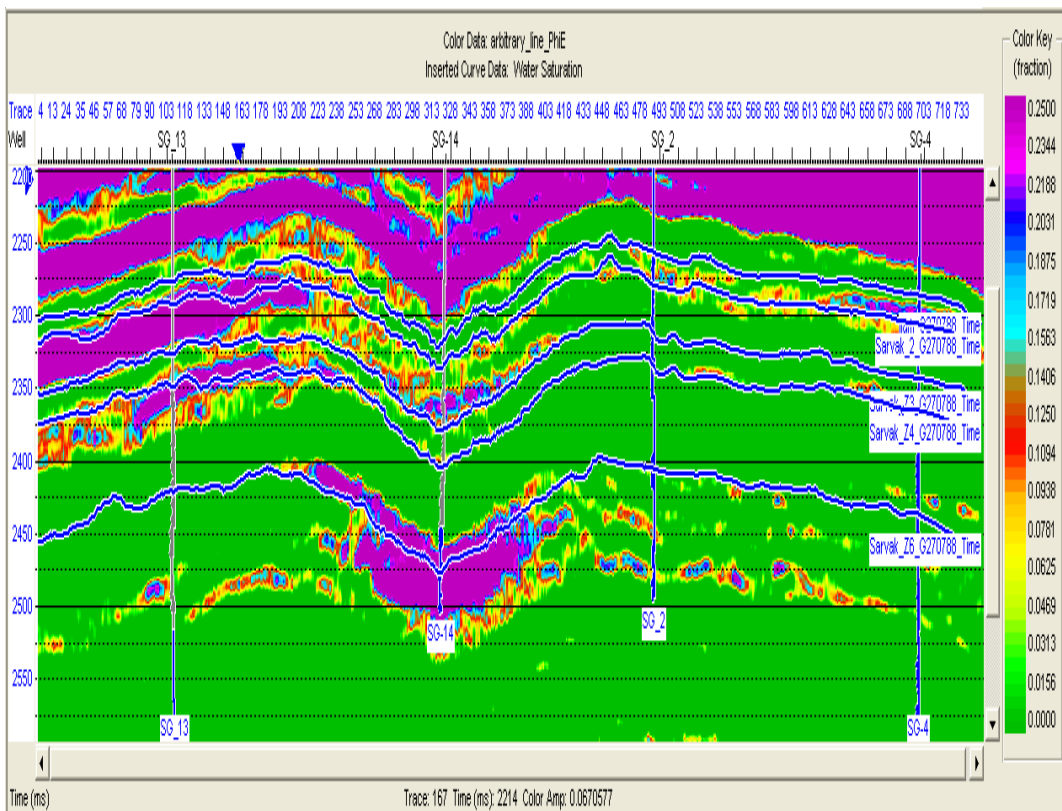
شکل ۹. نمایش سه‌بعدی کیفیت مخزنی در میدان و توزیع میزان هیدروکربور (مقادیر بین ۰ تا ۸ درصد حجم سنگ).



شکل ۱۰. برش قائم از نشانگر مقاومت صوتی در محل عبوری از چاه‌ها (تقریباً جنوب شرقی-شمال غربی).



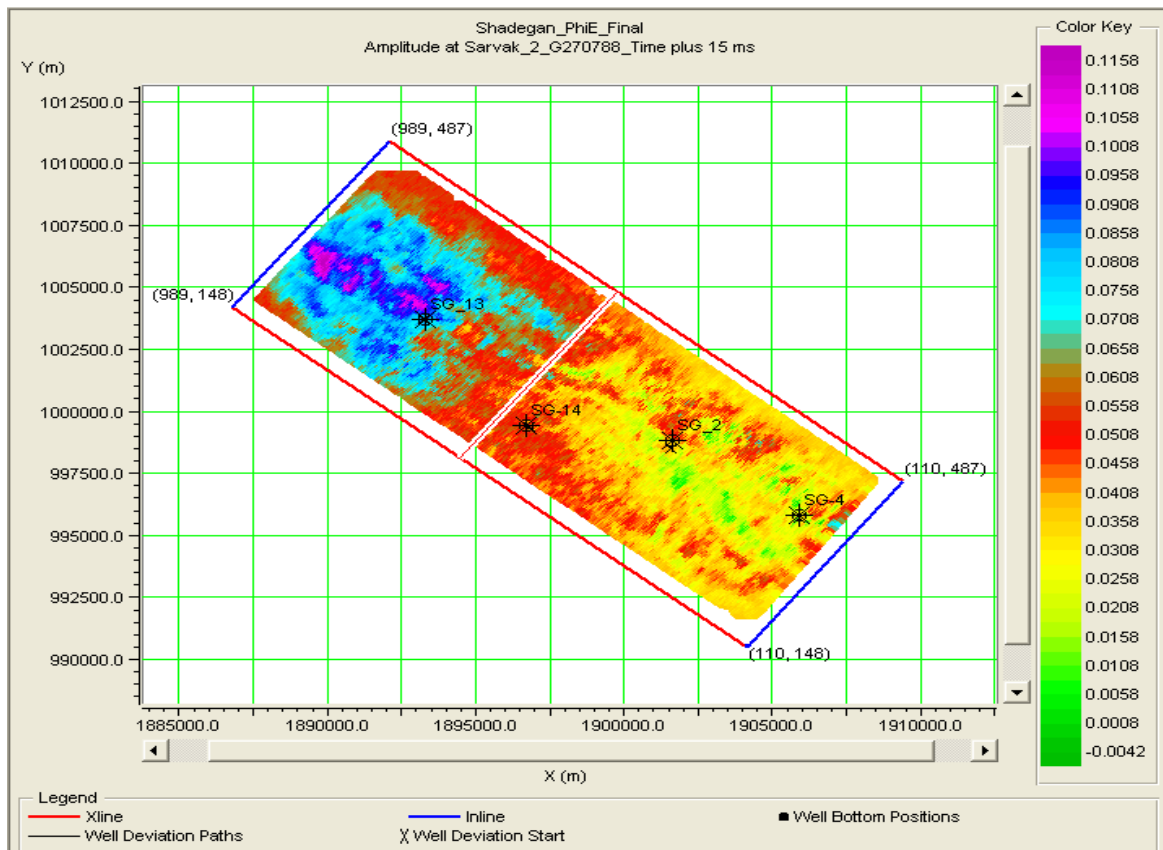
شکل ۱۱. برش سطحی نشانگر مقاومت صوتی از لایه سروک ۲.



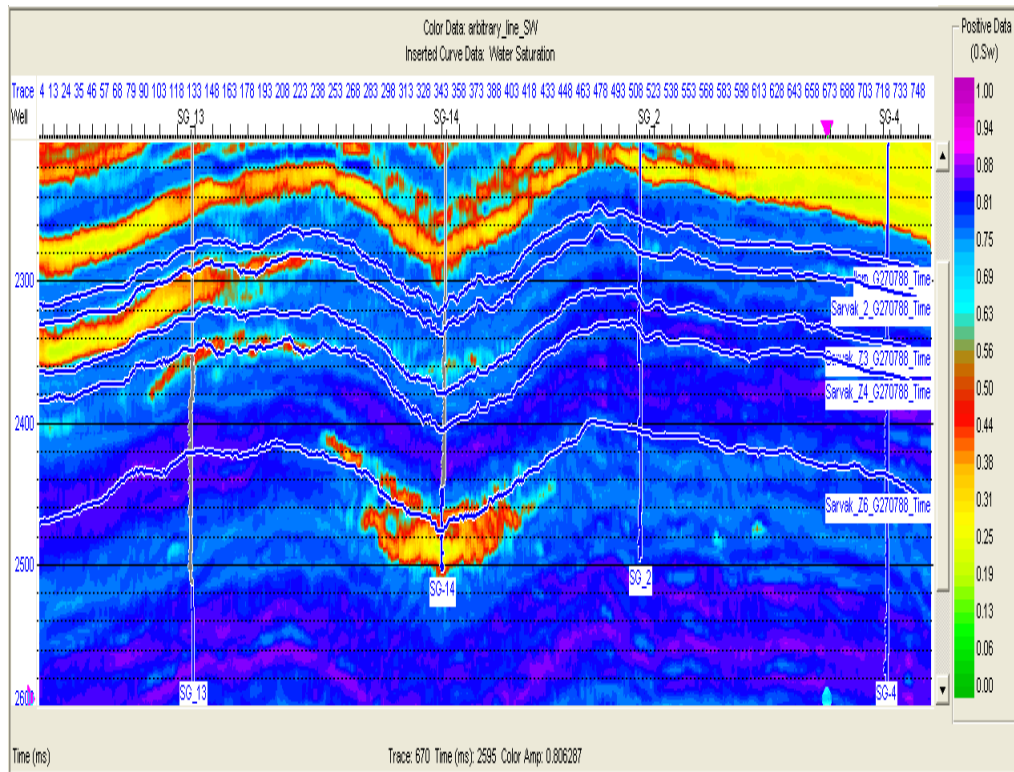
شکل ۱۲. تغییرات جانبی تخلخل موثر در مقطع عرضی عبوری از محل چاه‌ها (تقریباً جنوب شرقی-شمال غربی).

گستره مکانی در راستای جنوب شرقی به شمال غربی دارای تغییرات AI نیز هست که موجب تفکیک جانبی زون‌های مخزنی به دو بخش و با AI متفاوت شده است (شکل‌های ۱۳ و ۱۴). حال با عنایت به اینکه هر دو مخزن پیش گفته دارای لیتولوژی کربناته هستند و بررسی‌های زمین‌شناسی نیز تغییرات دیاژنژی معناداری را در گستره این میدان نشان نداده است، لذا شاید بتوان عنوان داشت که عامل اصلی کنترل کننده کیفیت مخزنی سازند سروک در میدان مورد بررسی، همان تغییرات رخساره‌ای است که به وضوح در نشانگرهای لرزه‌ای، به ویژه نشانگر AI دیده می‌شود.

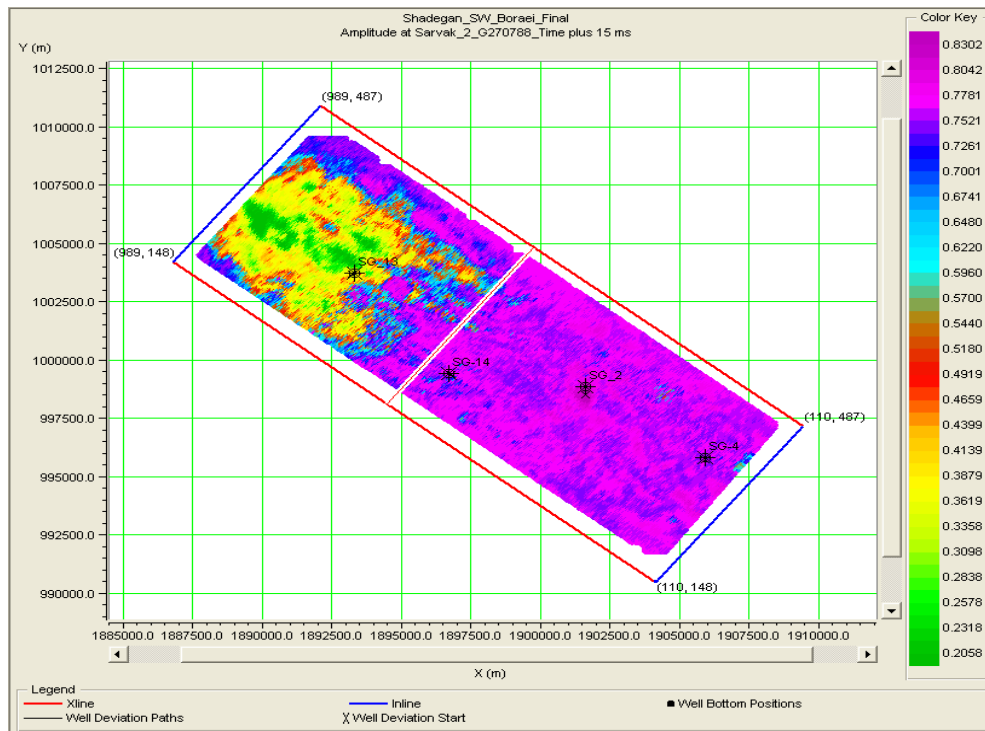
تحقیق حاضر روشن ساخت که زون‌های مخزنی در این میدان به دو بخش کاملاً متفاوت تقسیم می‌شود، به طوری که میزان تخلخل زون‌های مخزنی در راستای حرکت از شمال غربی به سمت جنوب شرقی میدان کاهش معناداری پیدا می‌کند (شکل‌های ۹ و ۱۰)، همچنین سیری شاره مخازن در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ به وضوح نشان‌دهنده همین تغییرات است و از قسمت شمال غربی به سمت جنوب شرقی سیری هیدروکربور، کاهش قابل ملاحظه‌ای نشان می‌دهد. بررسی‌های مربوط به نشانگرهای لرزه‌ای، به ویژه نشانگر مقاومت صوتی نشان می‌دهد که سازند پیش گفته در



شکل ۱۳. برش سطحی تخلخل موثر از لایه سروک ۲.



شکل ۱۴. تغییرات جانبی میزان سیری آب به موازات طول ساختمان (مقطع عبوری چاه‌ها) در واحدهای مخزنی.



شکل ۱۵. تغییرات جانبی میزان سیری آب در واحد مخزنی سروک ۲.

- Batzle, M. and Wang, Z., 1992, Seismic properties of pore fluids, *Geophysics*, **57**, 1396-1408.
- Brown, A., 2001, Understanding seismic attributes: *Geophysics*, **66**, 47-48.
- Caers, J., 2000, Modeling facies distributions from seismic using neural nets, Stanford Center for Reservoir Forecasting Annual Report, **13**, 1-2.
- Carr, D. L., Johns, R. A. and Elphick, R. Y., 1997, High-resolution reservoir characterization of midcontinent sandstones using wire line resistivity imaging in Boonsville (Bend Conglomerate) gas field, Fort Worth basin, Texas, *The Log Analyst*, **38**(5), 54-69.
- Cooke, D., Sena, A., O'Donnell, G., Muryanto, T. and Ball, V., 1999, What is the best Seismic attribute for quantitative seismic reservoir characterization?, *SEG*, 4-6.
- Artun, E., Mohaghegh, Sh., Toro, J., Wilson, T., Alejandro and Sanchez, 2005, Reservoir characterization using intelligent seismic inversion, *SPE*, **98012**, 14-16.
- Hampson, D. P., Schuelke, J. S. and Quirein, J. A., 2001, Use of multiattribute transforms to predict log properties from seismic data, *Geophysics*, **66**(1), 220-236.
- Hampson-Russel Ltd, 1999, The theory of strata program.
- Hampson-Russel, 1999, Strata Module, theory and guide.
- Latimer, R. B., Davison, R., and Van Riel, P., 2000, An interpreter's guide to understanding and working with seismic-derived acoustic impedance data, *The Leading Edge*, **19**(3), 241-243.
- Luca, G., 2001, Towards high resolution reservoir characterization, M.Sc. thesis, West Virginia University, Morgantown, West Virginia.
- Sanchez, A. A., 2004, 3D seismic interpretation and synthetic modeling of the atoka and morrow formations, in the Buffalo valley field (Delaware basin, New Mexico, Chaves county) for reservoir characterization using neural networks', M.Sc. thesis, West Virginia University, Morgantown, West Virginia.
- Pennington, W., 2002, Calibration of seismic attributes for reservoir characterization, *The Leading Edge*, **14**, 1053-1058.

۵ نتیجه‌گیری

یکی از دستاوردهای تحقیق حاضر روشن ساختن این موضوع بوده است که در نوار (زون) دوم سازند سروک، در بخش شمال غربی میدان و نوار (زون) چهارم سازند سروک، در بخش مرکزی میدان، ویژگی‌های مخزنی خوبی را ظاهر می‌سازد. این در حالی است که بخش جنوب شرقی میدان در هیچ کدام از این دو نوار (زون) دارای شرایط مخزنی خوبی نیست.

از نتایج دیگر تحقیق این است که هر دو زون مخزنی به دو بخش کاملاً مجزای رسوبی با AI کاملاً متفاوتی تقسیم شده‌اند، به طوری که مخازن پیش گفته دیگر از نوع مخازن ساختمانی ساده نیستند و به مثابه مخازن ساختمانی - چینه‌ای مورد ارزیابی قرار می‌گیرند که این موضوع در برنامه‌ریزی توسعه و بهره‌برداری از مخازن این میدان حائز اهمیت ویژه‌ای است. برای حفاری‌های جدید، بخش شمال غربی و زون‌های مخزنی دوم و چهارم پیشنهاد می‌شود.

دستاوردهای دیگر این پروژه را می‌توان ارزیابی تغییرات رخساره‌ای درحکم عامل اصلی کنترل کننده کیفیت مخزنی در مخازن مورد در این میدان عنوان کرد، این موضوع به لحاظ ژئوفیزیکی حائز اهمیت زیادی است و توانمندی روش‌های لرزه‌ای را در تحقیقات زمین‌شناختی و مخزنی نشان می‌دهد.

منابع

- Bahorich, M. and Farmer, S., 1995, 3-D seismic discontinuity for faults and stratigraphic features: the coherence cube, *The Leading Edge*, **14**, 1053-1058.
- Barnes, A. E., 2001, Seismic attributes in your facies, *CSEG Rec.* **26**, 41-47.