Archive of SID

مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس ملی مهندسی مخازن هیدروکربوری و صنایع بالادستی
۷ خرداد ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
مجری: اهم اندیشان انرژی کیمیا ۸۸۶۷۱۶۷۶ – ۰۲۱
www.Reservoir.ir

# ارزیابی تخلخل با استفاده از ویژگی لرزه‌ای

فرشاد درگاهی [۱]

بوشهر- دشتستان – بخش آبپخش- خیابان شهدا- کوچه شفقت ۰۹۱۷۳۷۷۳۹۲۴ farshaddargahi22@gmail.com

رباب چاه‌شوری [۲] ـ Robabchahshoori@gmail.com

باشگاه پژهشگران جوان و نخبگان، دانشگاه آزاد اسلامی واحد بوشهر

## چکیده

در این مقاله رابطه بین داده‌های تخلخل حاصل از اندازه‌گیری‌های درون چاهی با مشخصه‌های لرزه‌ای حاصل از عملیات لرزه‌نگاری دوبعدی مورد بررسی قرار می‌گیرد. به این منظور ابتدا با استفاده از داده‌های چگالی و سرعت موج P و لرزه نگاشت‌های حاصل از عملیات لرزه‌نگاری در موقعیت چاه، اقدام به انجام عملیات وارون لرزه‌ای کرده و مدل AcousticImpedance را برای خط لرزه‌ای مربوط به دست می‌آوریم. سپس مشخصه‌های لرزه‌ای دارای بیشترین ضریب همبستگی با داده‌های تخلخل را به دست آورده و به همراه مدل AcousticImpedance به عنوان داده‌های شبکه عصبی مصنوعی استفاده می‌کنیم. خروجی شبکه عصبی مصنوعی، تخمینی از تخلخل در امتداد خط لرزه‌ای می‌باشد.

---

[۱] دانشجوی رشته مهندسی نفت – دانشگاه آزاد اسلامی عالیشهر

[۲]. مدرس دانشگاه آزاد اسلامی عالیشهر

www.SID.ir

Archive of SID



## مقدمه:

به طور کلی مشخصه لرزه‌ای به شکل زیر تعریف می‌شود:

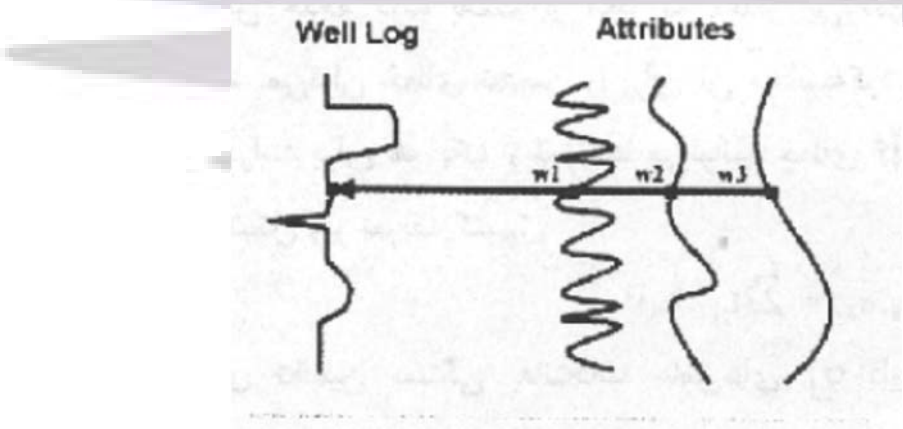
تمامی اطلاعات به دست آمده از داده‌های لرزه‌ای، با اندازه‌گیری مستقیم یا غیرمستقیم، که ممکن است شامل داده‌های دیگر نیز باشد.

طی سالهای اخیر، استفاده از مشخصه‌های لرزه‌ای برای تخمین خواص فیزیکی مخزن، رشد فزاینده‌ای داشته است.

روش‌های مبتنی بر داده‌های لرزه‌ای هنگامی متداول شد که محققان به رابطه بین خواص مخزن به دست آمده از داده‌های چاه و مشخصه‌های لرزه‌ای پی برده و معادلات و فرمول‌های به‌دست آمده را برای تخمین خواص مخزن در نقاط دور از چاه مورد استفاده قرار دادند. مشخصه‌های لرزه‌ای مورد استفاده در این روابط می‌توانند مشخصه‌های ساده مشتق از زمان (منحنی‌های هم‌زمان، ساختمان زمانی)، دامنه‌ها (دامنه لحظه‌ای، دامنه میانگین)، مشخصه‌های پیچیده رد لرزه‌ای (توان انعکاس، فرکانس لحظه‌ای) و یا سایر مشخصه‌ها (ایمپدانس، کوهرنسی، تا همسانگردی سرعت) باشند. رگرسیون چندگانه، زمین آمار، شبکه‌های عصبی مصنوعی و سایر روشها برای کشف روابط بین داده‌های چاه و داده‌های لرزه‌ای مورد استفاده قرار می‌گیرند. در اینجا به اختصار رگرسیون چندگانه و شبکه‌های عصبی مصنوعی را تشریح می‌کنیم.

## رگرسیون چندگانه

فرض کنید سه مشخصه لرزه‌ای در اختیار داشته و می‌خواهیم رابطه‌ای قابل قبول بین آنها و داده‌های چاه برای خاصیت مورد نظر (تخلخل) به دست آوریم (نمودار ۱).




نمودار ۱. در هر لحظه از زمان هر یک از نمونه‌های چاه با ترکیبی خطی از مشخصه‌های لرزه‌ای برابر می‌باشد.

در هر لحظه از زمان، رابطه زیر بین مشخصه‌های لرزه‌ای و خاصیت مورد نظر برقرار می‌باشد:

(۱)

$$L(t) = w_0 + w_1 A_1(t) + w_2 A_2(t) + w_3 A_3(t)$$

مقادیر $w_i$ یا وزنها را می توان با پیدا کردن نقاط حداقل معادله خطای میانگین مربعات به دست آورد:

www.SID.ir

Archive of SID



(۲)

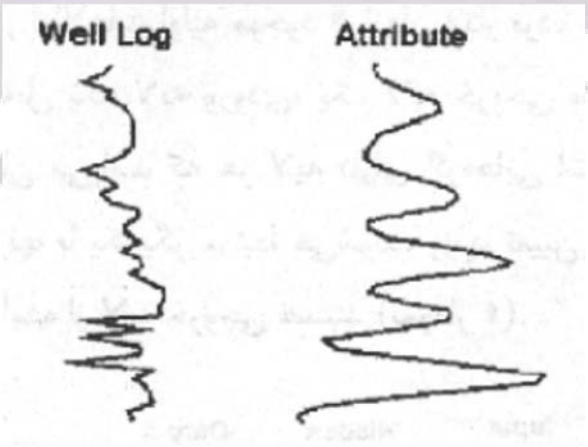
$$E^2 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(L_i - W_0 - W_1A_{1i} - W_2A_{2i} - W_3A_{3i})^2$$

به این ترتیب معادله ماتریسی زیر حاصل می‌شود:

(۳)

$$\begin{bmatrix} w_0 \\ w_1 \\ w_2 \\ w_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N & \sum A_{1i} & \sum A_{2i} & \sum A_{3i} \\ \sum A_{1i} & \sum A_{1i}^2 & \sum A_{1i}A_{2i} & \sum A_{1i}A_{3i} \\ \sum A_{2i} & \sum A_{1i}A_{2i} & \sum A_{2i}^2 & \sum A_{2i}A_{3i} \\ \sum A_{3i} & \sum A_{1i}A_{3i} & \sum A_{2i}A_{3i} & \sum A_{3i}^2 \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} \sum L_i \\ \sum A_{1i}L_i \\ \sum A_{2i}L_i \\ \sum A_{3i}L_i \end{bmatrix}$$

اما از آنجا که ماهیت داده‌های لرزه‌ای با داده‌های چاه متفاوت است (نمودار ۲)، لذا فرض می‌کنیم که هر نمونه از داده‌های چاه با گروهی از نمونه‌های مشخصه‌های لرزه‌ای متناظر باشد (نمودار ۳).

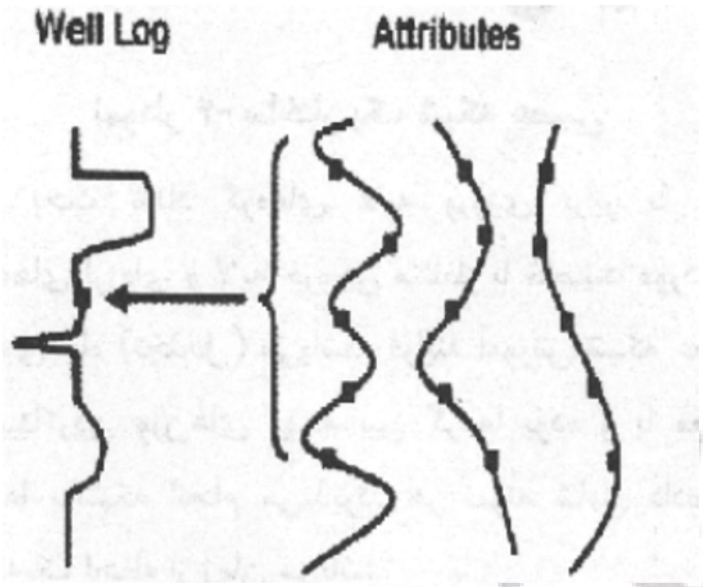



نمودار ۲. به دلیل تفاوت در محتوای فرکانسی داده‌های چاه و مشخصه‌های لرزه‌ای بجای ترکیب خطی، از عملگر کانولوشن استفاده می‌شود.

www.SID.ir

Archive of SID






نمودار۳. استفاده از عملگر کانولوشن پنج نقطه‌ای برای مرتبط کردن مشخصه‌های لرزه‌ای با داده‌های چاه

معادله (۱) را با در نظر گرفتن عملگر کانولوشن می‌توان به شکل زیر تعمیم داد:

(۴)

$$L = W_0 + W_1 * A_1 + W_2 * A_2 + W_3 * A_3$$

که در آنجا * عملگر کانولوشن و $W_i$ عملگرهایی با طول مشخص هستند. در این صورت معادله خطای میانگین مربعات به شکل زیر خواهد بود:

(۵)

$$E^2 = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(L_i - W_0 - W_1 * A_{1i} - W_2 * A_{2i} - W_3 * A_{3i})^2$$

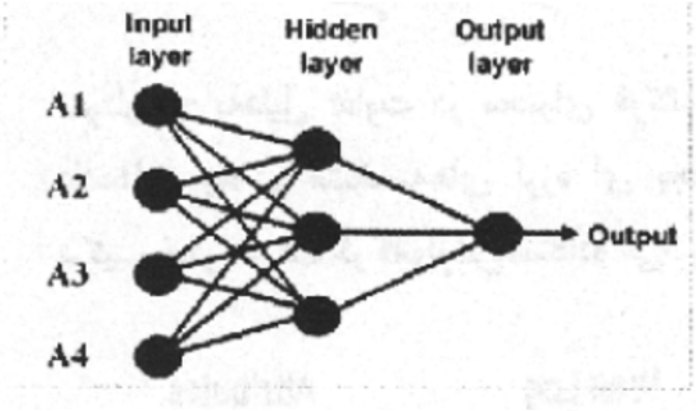
## شبکه‌های عصبی مصنوعی

شبکه‌های عصبی مصنوعی به صورت گسترده و روزافزونی در صنعت و علوم مختلف به منظور پیش‌بینی یک یا چند عامل با استفاده از اطلاعات اولیه موجود از آنها، به کار برده می‌شوند. هر شبکه شامل یک لایه ورودی، یک لایه خروجی و یک یا چند لایه پنهان می‌باشد که هر لایه دارای گره‌هایی است و گره‌ها توسط وزن‌ها با یکدیگر مرتبط می‌شوند. وزن‌ها تعیین‌کننده نتیجه به دست آمده از لایه خروجی هستند (نمودار ۴).

www.SID.ir

Archive of SID






نمودار۴: ساختار یک شبکه عصبی

در این بحث تعداد گره‌های لایه ورودی برابر با تعداد مشخصه‌های لرزه‌ای و لایه خروجی متناظر با خاصیت موردنظر از داده‌های چاه (تخلخل) می‌باشد. آموزش شبکه عصبی شامل پیداکردن وزن‌های بهینه بین گره‌ها بوده و با معرفی نمونه‌ها به شبکه انجام می‌پذیرد. هر نمونه شامل داده‌های مربوط به یک لحظه از زمان می‌باشد:

$$\{A_{11}, A_{21}, A_{31}, L_1\}$$

$$\{A_{12}, A_{22}, A_{32}, L_2\}$$

$$\{A_{13}, A_{23}, A_{33}, L_3\}$$

$$\{A_{1n}, A_{2n}, A_{3n}, L_n\}$$

که در اینجا n تعداد نمونه‌هاست. یک نوع شبکه‌های عصبی مصنوعی به نام «شبکه‌های عصبی احتمالی» که به اختصار با PNN نمایش داده می‌شود بر این فرض استوار است که مقادیر جدید داده‌های چاه را می‌توان به صورت رابطه‌ای خطی از $L_i$ ها به دست آورد. برای یک نمونه جدید با مقادیر مشخصه های لرزه‌ای$x = \{A_{1j}, A_{2j}, A_{3j}\}$مقدار جدید داده چاه توسط معادله (۶) برآورد می شود:

(۶)

$$L(x) = \frac{\sum_{i=1}^{n} \exp(-D(x, x_i))}{\sum_{i=1}^{n} \exp(-D(x, x_i))}$$

که در اینجا:

(۷)

$$D(x, x_i) = \sum_{j=1}^{j} \left( \frac{x_j - x_{ij}}{\sigma_j} \right)^2$$

www.SID.ir

Archive of SID



کمیت $D(x, x_i)$ فاصله بین دو نقطه $x$ و $x_i$ در فضای چندبعدی، مشخصه های چند لرزه ای است که توسط عامل $\sigma_j$ مدرج شده است. آموزش این شبکه عبارت است از تعیین مجموعه ای بهینه از عوامل $\sigma_j$. برای تعیین ضابطه این عامل ها، بایستی شبکه به دست آمده دارای کمترین خطای اعتبار باشد. نتیجه اعتبار برای نمونه m ام از داده های چاه عبارت است از:

(۸)

$$L_m(x_m) = \frac{\sum_{i\neq m}^{n} L_i exp(-D(x_m, x_i))}{\sum_{i\neq m}^{n} exp(-D(x_m, x_i))}$$

این مقدار برای نمونه m ام مقدار پیش بینی شده از داده های چاه می باشد در صورتی که این نمونه را از مجموعه نمونه های آموزش حذف کرده باشیم از آنجا که مقدار این نمونه معلوم است، می توان خطای تخمین را برای آن محاسبه کرد. با تکرار این فرایند برای هر یک از نمونه ها می توانیم خطای کل تخمین را به شکل زیر تعریف کنیم:

(۹)

$$E_V(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3) = \sum_{i=1}^{n} (L_1 L_2)^2$$

خطای تخمین بستگی به انتخاب عامل های $\sigma_j$ داردو مقدار حداقل این کمیت را می توان توسط یک الگوریتم ترکیبی غیرخطی به دست آورد.

شرح

اطلاعات مورد استفاده در این بررسی عبارتند از یک خط لرزه ای دوبعدی پردازش شده (نمودار ۵) و اطلاعات چاه شامل داده های سرعت موج تراکمی، چگالی، تخلخل و Check Shot (نمودار ۶).

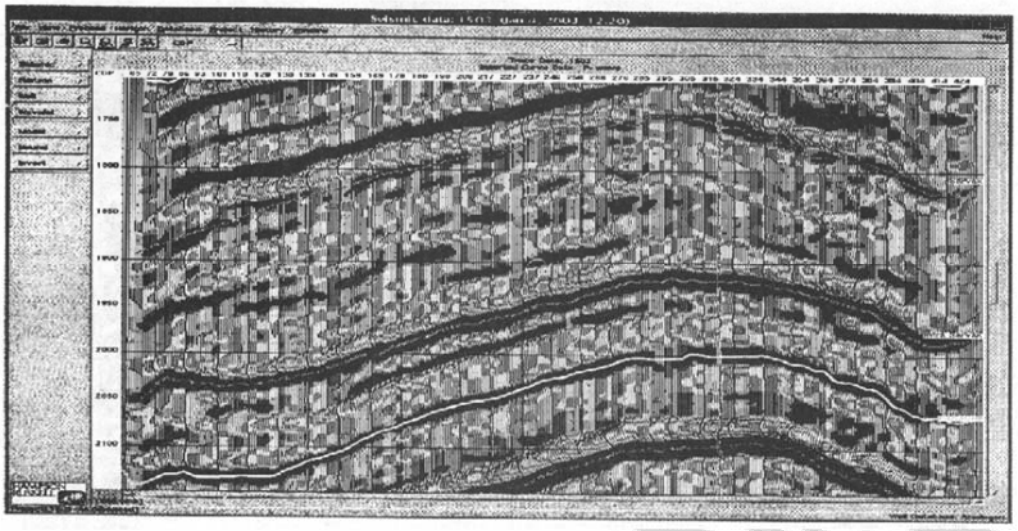
در این مطالعه از امکانات نرم افزار Hampson-Rusell برای به دست آوردن نتایج استفاده شده است.

به دلیل اینکه نمونه گیری داده های چاه برحسب عمق انجام شده است، برای استفاده از آنها در مقطع لرزه ای ابتدا باید اندازه گیری های انجام شده برحسب عمق را به زمان تبدیل کرد. برای این کار داده هاس سرعت موج تراکمی را با استفاده از check shot تصحیح می کنیم. پس از اعمال این تصحیح، داده های چاه را با استفاده از نمودار زمان ـ عمق در مقیاس زمان نمایش می دهیم (محور عمودی سمت چپ در نمودار۶). حال که این تصحیحات اعمال شد، می توان نمودار داده های چاه را در مقطع لرزه ای وارد کرد و به مقایسه و بررسی نحوه انطباق این داده های لرزه ای در موقعیت چاه پرداخت (نمودار ۵).

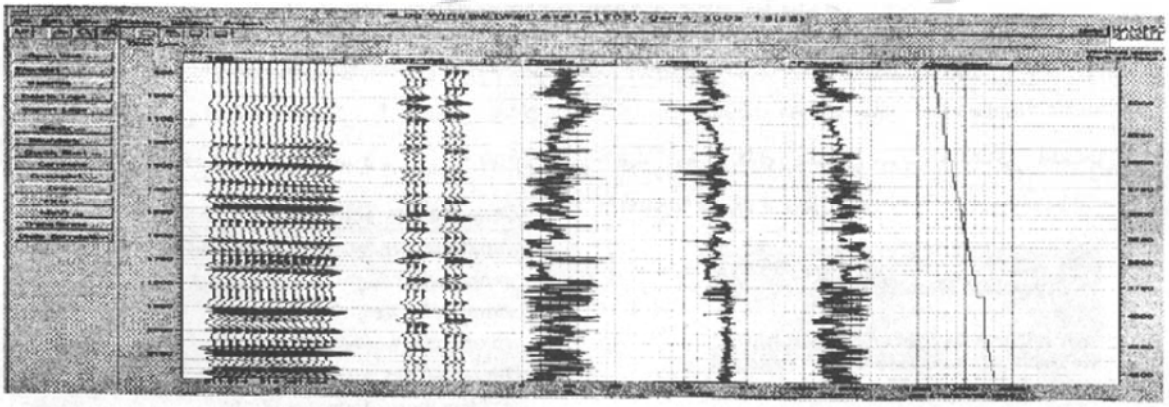
www.SID.ir

Archive of SID





نمودار ۵. مقطع لرزه ای یکی از خطوط میدان به همراه موقعیت و نمودار



نمودار۶. نمودارهای مربوط به اطلاعات چاه پیمایی

ابتدا رد لرزه ای مصنوعی را با استفاده از داده های سرعت موج تراکمی و چگالی، به دست آورده و سپس با مدل سازی معمکوس لرزه ای مقدار Acoustic Impedance (معادله ۱۰) را برای مقطع لرزه ای به دست می آوریم (نمودار ۷).

(۱۰)

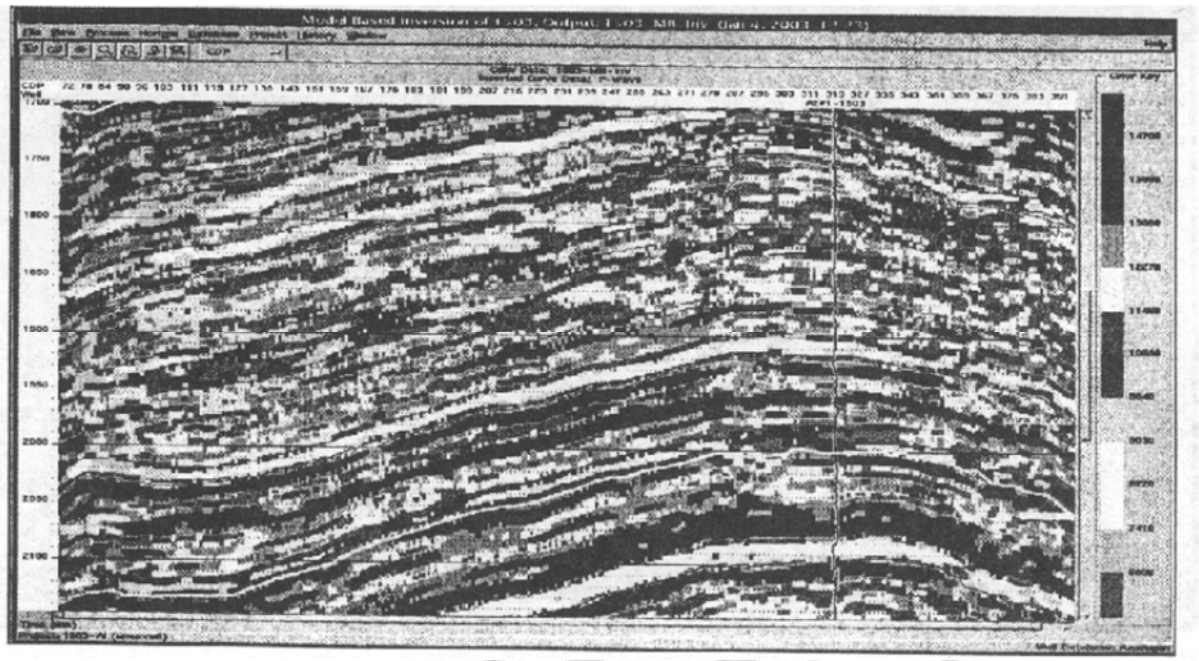
$$AI = V \times p$$

که در اینجا V سرعت موج تراکمی و p چگالی است.

www.SID.ir

Archive of SID





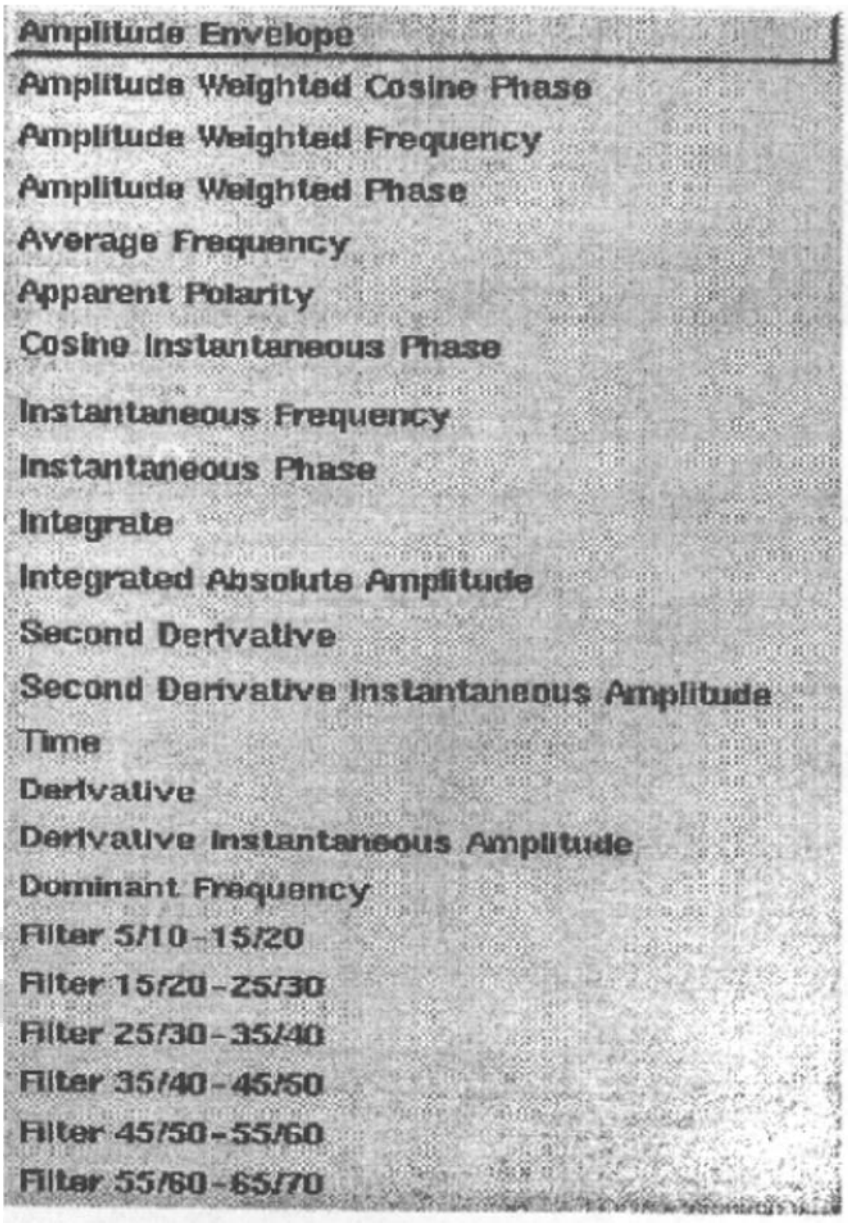
نمودار۷. مدل Acoustic Impedance در امتداد خط لرزه ای

اکنون با استفاده از روش رگرسیون چندگانه به پیداکردن مشخصه های لرزه ای دارای بیشترین ضریب همبستگی با داده های تخلخل است، می پردازیم. مشخصه های لرزه ای مورد بررسی عبارتند از:

www.SID.ir

Archive of SID






از میان مشخصه های فوق سه مشخصه Time،Integrate، Amplitude Weighted Frequency بیشترین ضریب همبستگی را با داده های تخلخل دارا می باشند. (در حدود ۰/۸۱).

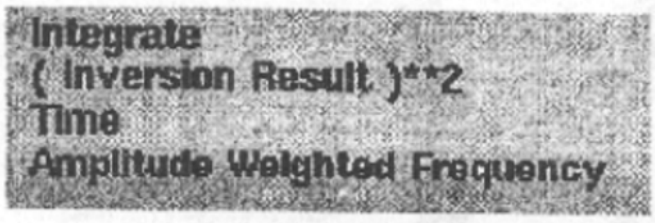
از میان تبدیلات مختلف مقادیر Acoustic Impedance نیز توان دوم آن دارای بیشترین ضریب همبستگی با تخلخل است.

اکنون با استفاده از مقادیر:

www.SID.ir

Archive of SID






به تخمین تخلخل با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی می پردازیم. به این منظور مقادیر چهار مشخصه لرزه ای فوق الذکر را در موقعیت چاه به عنوان «داده های ورودی» و مقادیر تخلخل حاصل از چاه پیمایی را به عنوان «هدف» شبکه عصبی مصنوعی در نظر می گیریم. در اینجا هدف ما پیدا کردن نگاشتی چهار متغیرهاز فضای مشخصه های لرزه ای به فضای یک متغیره مقادیر تخلخل می باشد، به طوری که در محدوده بازه مورد مطالعه، تخمینی از تخلخل را با استفاده از مقادیر مشخصه های لرزه ای به دست آوریم. شبکه عصبی مصنوعی براساس الگوی یادگیری انتخاب شده، که در این مطالعه از الگوی شبکه های عصبی احتمالی استفاده شده است. شامل انواع متفاوتی بوده و به تعیین مجموعه ای بهینه از وزنها را می توان ضرایب نگاشت چهار متغیره فوق الذکر در نظر گرفت. هرچه تعداد چاههای نزدیک به خطوط لرزه ای در منطقه مورد مطالعه بیشتر باشد نتیجه به دست آمده دارای خطای کمتری خواهد بود. به منظور بررسی میزان اعتبار نتایج به دست آمده از شبکه عصبی مصنوعی، تعدادی از نمونه های اولیه مجموعه داده های ورودی کنار گذاشته شده و نتایج اندازه گیری شده با نتایج محاسبات مقایسه می شوند. خطای به دست آمده توسط روابطی به کل نقاط مقطع لرزه ای، تعمیم داده شده و خطای کل اندازه گیری می شود. مقطع نشان داده شده در نمودار ۸ نتیجه تخمین تخلخل با استفاده از چهار مشخصه لرزه ای فوق الذکر به عنوان ورودی شبکه عصبی مصنوعی می باشد (خطای محاسبات در حدود ۴ ٪ است)

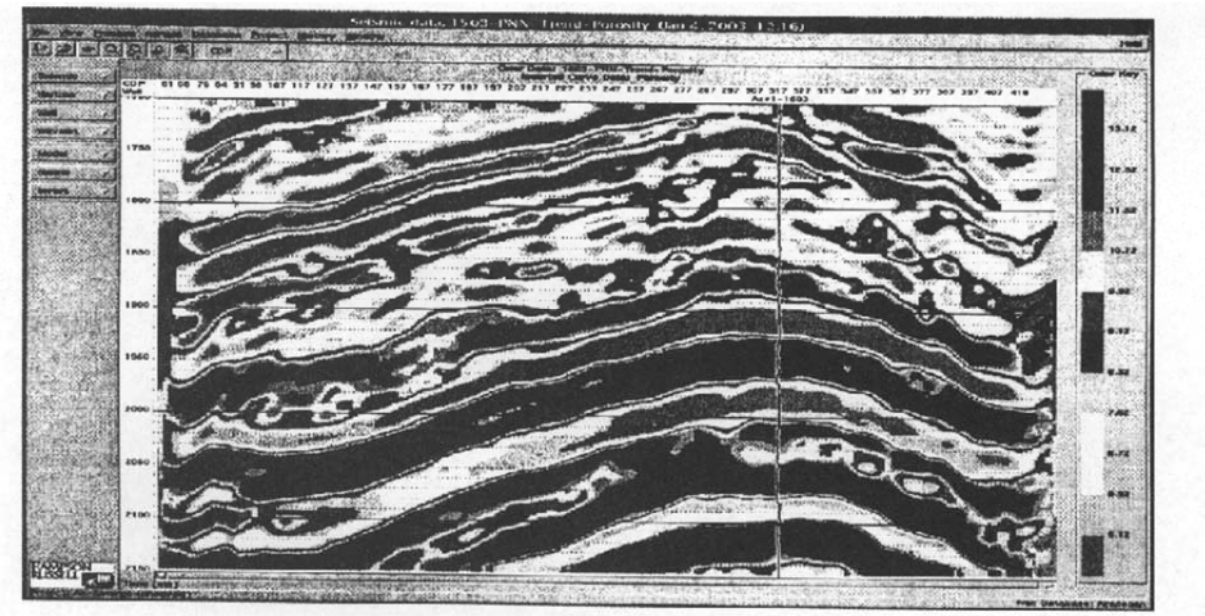
## نتیجه گیری

این مطالعه نشان می دهد که چگونه با استفاده از داده های درون چاهی و در صورت وجود داده های لرزه ای، می توان تخمینی از نحوه تغییرات جانبی عوامل مخزن را در نقاط دور از چاه به دست آورد. شبکه های عصبی مصنوعی ابزاری توانمند در پیدا کردن روابط موجود بین اطلاعات مختلف جمع آوری شده از حوزه مورد بررسی می باشند. روند رو به رشد استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی در حوزه های مختلف، و به ویژه در مطالعات میادین هیدروکربنی، نویددهنده افزایش دقت و کیفیت تخمین های ارائه شده توسط این ابزار توانمند است.

www.SID.ir

Archive of SID





نمودار ۸. تخمین تخلخل در امتداد خط لرزه ای

## منابع:

1. M. TurhanTaner: Attributes Revisites, Rock Solid Images, Huston, 2000.

2. James S. Schuelke, Dan Hampson: A New Approach to Predict log properties from Seismic Data Using Mulitple Seismic Attributes and Neural Networks, AAPG Internation Conference & Exhibition, Bali, 2000.

3. T.Masters: Asvanced Algorithms for Neural Network: A C++ Sourcebook, John Wiley and Sons, New York, 1995.

4. N. Karayiannis, A.N Venetsanopoulos: Artificial Neural Networks: Learning Algorithms, PereformanceEvalustion, and Applications, Kluwre Academic Publishers, Boston, 1992.

5. Hampson-Russell Software, Elog-strata- emerge, Revision CE5/R2, 2001.

www.SID.ir