Archive of SID

تعیین واحدهای جریانی هیدرولیکی در مخازن ماسه سنگی با استفاده از تلفیق داده-های پتروفیزیکی، داده های لاگو نتایج برگردان لرزه ای

سعید یارمحمدی[۱]، علی کدخدایی[۲]، احمد شیرزادی[۳]

دانشکده زمین شناسی/پردیس علوم/دانشگاه تهران/تهران/ایران

آدرس پست الکترونیک نویسنده اول (sd_yar@yahoo.com)

چکیده

بررسی خصوصیات پتروفیزیکی در مخازن ماسه سنگی با رویکرد تعیین واحدهای جریان هیدرولیکی از دیرباز به عنوان روشی مفید جهت زون بندی مخزن استفاده شده است. در این مطالعه، ابتدا واحد های جریانی از طریق تعیین شاخص هیدرولیکی(FZI) بدست آمده است. سپس، داده‌های پیش بینی شده به عنوان ورودی‌های آنالیزهای چند نشانگری برای یافتن روابط خطی و غیر خطی بین نشانگرهای لرزه ای و مقادیرFZI بکار گرفته شده است. وارون‌سازی لرزه‌ای با استفاده از الگوریتم بر پایه مدل که در این مطالعه مابین دیگر الگوریتم‌های وارون‌سازی بالاترین دقت را دارا بود، صورت گرفت و مقاطع لرزه‌ای امپدانس صوتی حاصل به عنوان نشانگر لرزه‌ای خارجی بکار گرفته شد. تعداد بهینه نشانگرهای لرزه‌ای برای تخمین مقادیرFZI با استفاده از روش رگرسیون مرحله‌ای تعیین گردید. امپدانس صوتی بالاترین رابطه را با مقادیر شاخص های جریان نشان داده و به عنوان بهترین نشانگر لرزه‌ای انتخاب شد. سپس برای هر مخزن یک شبکه عصبی احتمالاتی (PNN) با استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای بهینه طراحی گردید. شبکه عصبی احتمالی آموزش داده شد تا با استفاده از مجموعه نشانگرهای بدستآمده کیفیت برازش را افزایش دهد. نتایج نشان داده شده بیانگر آن است که واحد های جریانی هیدرولیکی روش مناسب در زون بندی مخازن ماسه سنگی است. نتایج می تواند در توصیف ویژگی‌های مخزن درطول خط لرزه ای برای یافتن زون‌های با محتوای هیدروکربنی بالا استفاده شود از این طریق می توان در آینده هزینه‌های حفاری‌ها را کاهش داد.

واژه‌های کلیدی: واحد های جریانی، شاخص های جریان الکتریکی، شاخص جریان هیدرولیکی، شبکه عصبی احتمالاتی، شاخص های لرزه ای

۱-کارشناسی ارشد زمین شناسی نفت

۲-دکترای زمین شناسی نفت(استادیار دانشگاه تبریز)

۳-کارشناسی ارشد مهندسی مخزن (شرکت نفت خزر)

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

یکی از مهمترین پارامترها جهت تعیین رفتار هیدرودینامیکی مخزن، تعیین واحدهای جریانی است. تکنیک‌های منتشر شده به طور کلی به دو دسته استاتیکی و دینامیکی تقسیم شده است. اما آنچه که در حیطه زمین شناسی نفت بیشتر مورد بررسی قرار می گیرد، تعیین واحدهای جریانی استاتیکی و زون‌بندی مخزن بر مبنای آن با روش‌های گوناگون است.

تعیین ویژگی‌های فیزیکی و معماری داخلی یک مخزن در آب‌های عمیق، و به طور خاص، واحدهای جریانی هیدرولیکی در مناطق فاقد رخنمون و اینتروال‌های مغزه‌دار و همچنین فواصل میان چاهی نیازمند روشی کارامد است. این نیاز ما را بر آن میدارد که از داده‌های دیگری که دامنه وسیع تری از میدان را در بر می گیرد برای تعیین واحدهای جریانی استفاده کنیم. از جمله مهمترین این داده‌ها، داده‌های لرزه‌ای است که نتایج برگردان آنها، می‌تواند در تبدیل داده‌های لرزه‌ای به واحدهای جریانی هیدرولیکی مورد استفاده قرار گیرد. لازمه تعیین مدلی برای این واحدها در فواصل میان چاهی مخزن، ضرورت استفاده بیشتر از داده‌های لرزه ای به عنوان تنها اطلاعات موجود در این نقاط را اجتناب ناپذیر می‌کند. به منظور رسیدن به هدف مورد نظر می‌بایست اطلاعات داده‌های مغزهو لاگ درمحل چاه با داده‌های لرزه‌ای منطبق، و جهت تعمیم این واحدهای جریانی در اینتروال‌های فاقد داده‌های رخنمون و مغزه و فواصل میان چاهی مورد استفاده قرار گیرد. با به کاربردن این روش، ما شاهد کاهش چشمگیر عدم قطعیت در تعیین واحدهای جریانی هیدرولیکی در فواصل میان چاهی با ایجاد روابط معتبر بین داده‌های چاه و لرزه در محل چاه هستیم و در جهت بهتر شدن پیش بینی‌های در این فواصل گام برداشتهایم.

۳-واحد های جریانی هیدرولیکی

یک واحد جریان هیدرولیکی، بخشی از حجم مخزن است که می‌توان آن را از نظر خصوصیات کنترل کننده حرکت سیالات از سایر بخش‌های مخزن متمایز کرد.به این ترتیب می‌توان گفت، سنگ‌هایی که در یک واحد جریانی یکسان قرار می گیرند، دارای سیستم هیدرودینامیکی (خصوصیات کنترل کننده سیالات) یکسان هستند(Amaefule 1993).

(Carman 1937) جهت برقراری ارتباطی مناسب بین تراوایی و تخلخل، محیط متخلخل را به صورت مجموعه‌ای از لوله‌های مویینه مدل سازی و با ترکیب قانون دارسی برای حرکت سیال در محیط متخلخل و قانون پوزیل برای حرکت سیال در لوله‌ها، رابطه جدیدی بین تخلخل و تراوایی ارائه کردند. در این رابطه فاکتور پیچاپیچی(Tortusity,τ)، هم به رابطه اضافه شده است. زیرا در یک مدل واقعی، لوله‌های مویینه مستقیم نبوده و دارای خمیدگی‌هایی هستند (Al-Ajmi and Holditch 2000).

(۱)

$$k = \frac{Q_e r^2}{8\tau^2}$$

که درآنr شعاع لوله‌های مویینه و τعامل پیچاپیچی است (*Amaefule 1993*)پارامتری را به نام شعاع هیدرولیکی میانگین (r)، مطرح کردند و به نقش آن در واحدهای هیدرولیکی توجه بیشتری نمودند و پس از ترکیب آن با رابطه کوزنی –کارمن، رابطه زیر را بدست آوردند:

(۲)

$$k = \frac{\emptyset_e {r_{mh}}^2}{2\tau^2}$$

(۳)

$$r_{mh} = \frac{CrossSectionArea}{WettedPerimeter} = \frac{r}{2}$$

www.SID.ir

Archive of SID

همچنین بین شعاع هیدرولیکی میانگین و مساحت سطح بر واحد حجم دانه‌ها (S_{gv}) نیز ارتباط ذیل برقرار است:

(۴)

$$S_{gv} = \frac{1}{r_{mh}}\left[\frac{\emptyset_e}{1-\emptyset_e}\right]$$

وبا ترکیب رابطه (۳) و (۴) داریم:

(۵)

$$k = \left[\frac{{\emptyset_e}^3}{(1-\emptyset_e)^2}\right]\frac{1}{F_s\tau^2{S_{gv}}^2}$$

در این رارابطه تراوایی (k) بر حسب $\mu m2$است. همانطور که مشاهده می‌شود در این رابطه عامل شکل (F_s) نیز آورده شده است. زمانیکه لوله‌های مویینه به صورت استوانه‌های با مقطع دایره فرض شوند، مقدار F_s برابر ۲ است. در این رابطه عبارت ($F_s\tau^2$) به عنوان ثابت کوزنی شناخته می‌شود و مقدار آن بین ۵ تا ۱۰۰ متغییر است. در حقیقت عبارت ($F_s\tau^2{S_{gv}}^2$) تابعی از خصوصیات زمین شناسی محیط متخلل و تغییرات هندسه حفرات است. به همین علت می‌توان از آن به عنوان معیاری جهت تمایز واحدهای جریان هیدرولیکی از یکدیگر استفاده کرد.

با تقسیم کردن رابطه (۵) به $\emptyset_e$ و جذر گیری از آن رابطه ساده تری را می‌توان ارائه کرد:

(۶)

$$0.0314\sqrt{\frac{k}{\emptyset_e}} = \left(\frac{\emptyset_e}{1-\emptyset_e}\right)\frac{1}{\sqrt{F_s}\tau S_{gv}}$$

در این رابطه می‌توان شاخص کیفیت مخزن، شاخص منطقه جریانی و نسبت پوکی را به صورت زیر تعریف کرد:

(۷)

$$RQI = 0.0314\sqrt{\frac{k}{\emptyset_e}}$$

(۸)

$$FZI = \frac{1}{\sqrt{F_s}\,\tau\,S_{gv}}$$

(۹)

$$\emptyset_z = \left(\frac{\emptyset_e}{1-\emptyset_e}\right)$$

در این روابط K بر حسب میلی دارسی md است و عدد ثابت ۰.۳۱۴ برای تبدیل k از $\mu m2$ بهmd آورده شده است.

بنابراین می‌توان رابطه (۳-۶)را به صورت زیر نوشت:

(۱۰)

$$RQI = FZI \times \emptyset_z$$

www.SID.ir

Archive of SID

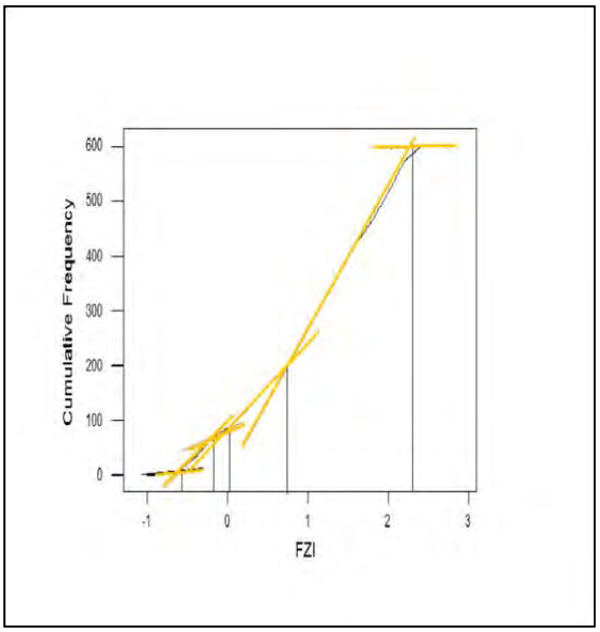
با لگاریتم‌گیری از دو طرف رابطه (۱۰) داریم:

(۱۱)

$$logRQI = logFZI \times log\emptyset_z$$

طبق رابطه (۱۱) چنانچه مقادیر شاخص کیفیت مخزن و نسبت پوکی را در یک مقیاس (*log-log*) ترسیم کنیم، داده‌هایی که دارای مقادیر یکسان شاخص منطقه جریان هستند، بر روی یک خط با شیب ثابت قرار می‌گیرند و نمونه‌ی با مقادیر متفاوت شاخص منطقه جریان بر روی خطوط موازی هم قرار می‌گیرند.

در این مطالعه پسازتعیینشاخص‌هایجریانی،ازطریقرسمنمودارتوزیعتجمعیبا استفاده از تلفیق داده‌های چاه‌ها در نرم افزار مینی‌تب و تعیین محل دقیق شکستگی‌ها با استفاده از روقومی کردن نمودار در نرم افزار آر تو وی تعدادواحدهایجریانیبهینهبدستآمده است (شکل ۱).



شکل-۱: نمودار توزیع تجمعی و تعداد بهینه واحدهای جریانی

----------	<FZI	-.567
-.567	<FZI<	-.178
-.178	<FZI<	0.019
0.019	<FZI<	0.736
0.736	<FZI<	2.3
2.3	FZI<	----------

جدول-۱:بازه‌های دقیق واحدهای جریانی

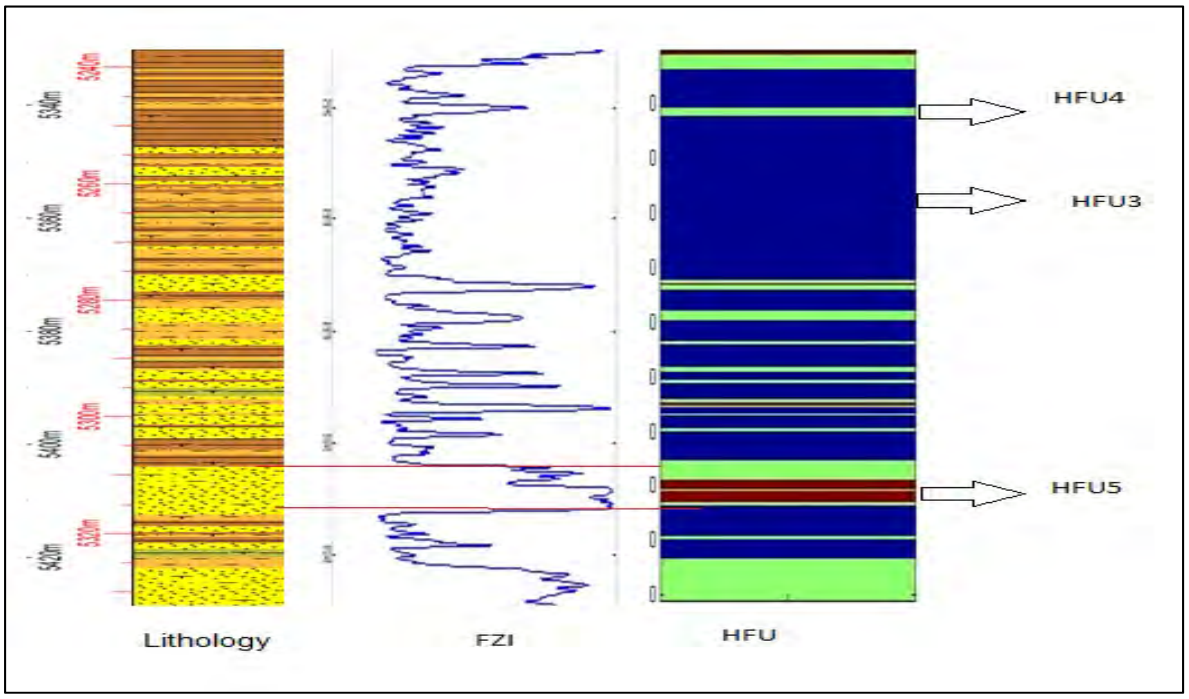
www.SID.ir

Archive of SID

پسازآنبارسمنمودارنیمهلگاریتمیتراواییدربرابرتخلخلتوزیعاینمونه‌هارامشاهدهکرد(شکل ۲).همانطورکهدیدهمی-شود،ارتباطنسبتاًخوبیبینتخلخلوتراواییدرواحدهایجریانیتعریفشدهوجوددارد. ازاینمودارمشخصاستکهجریاناز واحد ۱ تا ۶ بهترتیب افزایش می‌یابد.

شکل -۲: نمودار تخلخل در مقابل تراوایی و تفکیک واحدهای جریانی هیدرولیکی میدان شاه دنیز

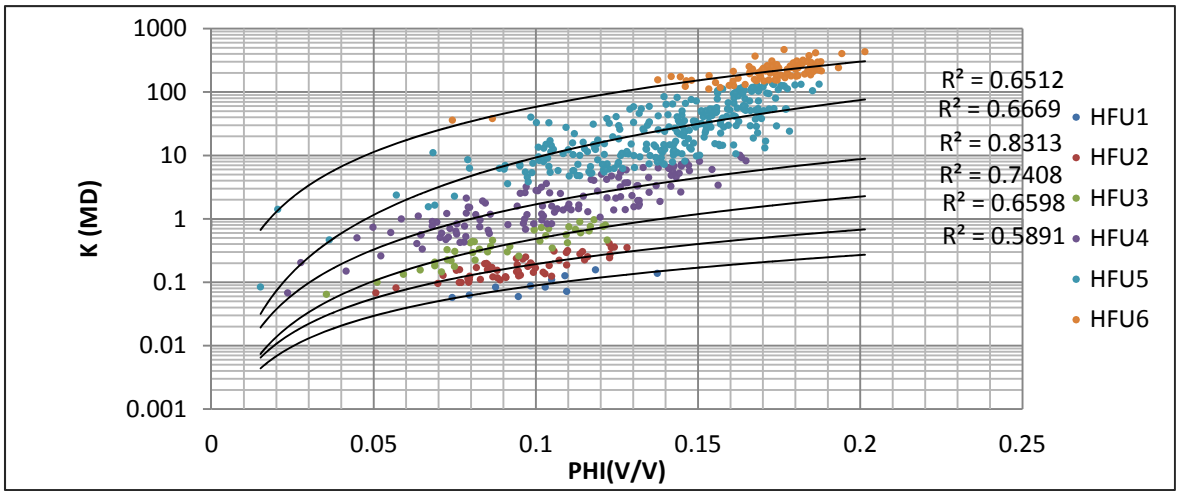
بدینترتیباگرمخزنیماسهسنگیکهتخلخلاولیهدرکیفیتمخزنیمؤثرترینقشرادارد،درازونبندیکنیمباید تکراروتوالیواحد-



هایجریانیباتغییراتبافتیولیتولوژیکیانطباقخوبیداشتهباشد،اینانطباقدراینمطالعهبهخوبی نشان داده شده است (شکل ۳).
همانطور که مشاهده می‌شود در میان لایه‌های ماسه سنگی شاخص جریان *(FZI)* افزایش یافته و واحد جریانی شماره بالاتری را به خود می گیرد.

شکل -۳: انطباق ستون سنگ شناسی، شاخص جریان هیدرولیکی و واحدهای جریانی

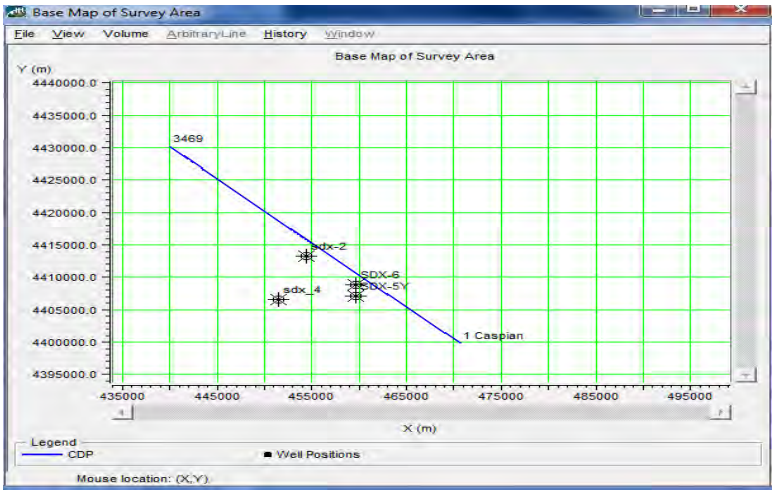
۴- تلفیق داده های پتروفیزیکی ونتایج برگدان لرزهای



www.SID.ir

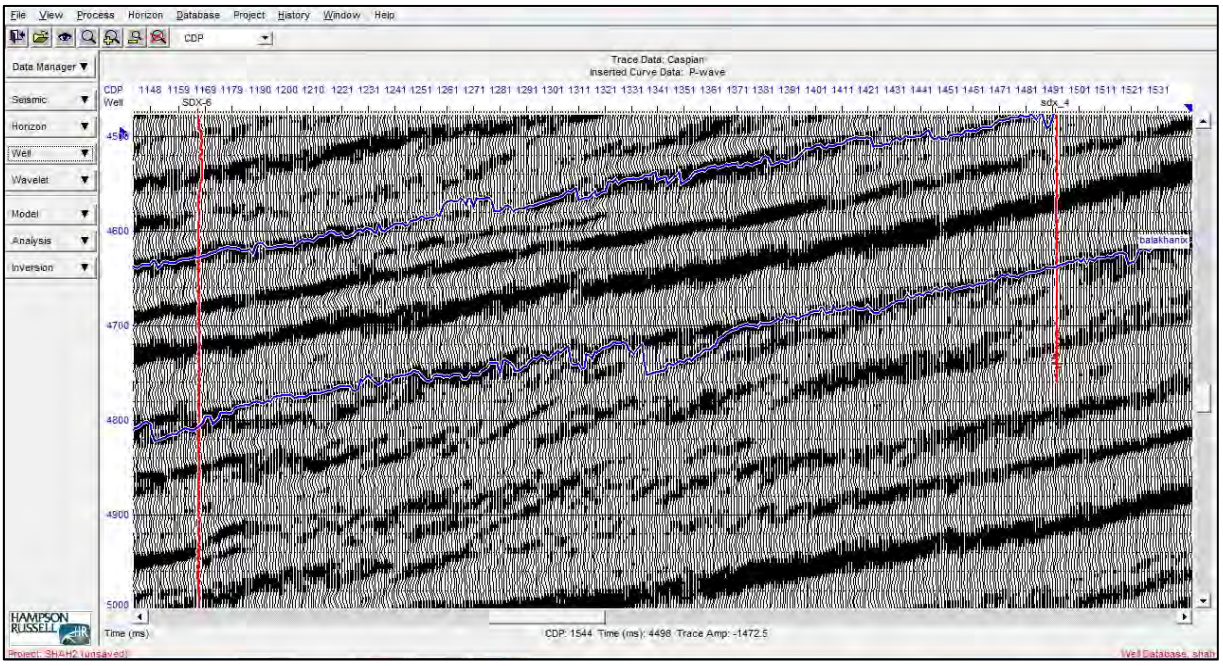
Archive of SID

در این قسمت از مطالعه به واحد های جریانی بدست آمده از مقطع امپدانس صوتی که از برگردان داده های لرزهای پس از بر انبارش بدست آمده است پرداخته می شود. داده های پتروفیزکی پس از بررسی و کنترل کیفیت به همراه لاگ های صوتی و



شکل-۴: مختصات چاه‌ها بر روی خطوط لرزه‌ای در میدان شاه دنیز

چگالی برای همه ی چاه ها فراهم شده است. سپس پایگاه داده ای شامل: لاگ های صوتی و چگالی، داده های شوت کنترلی، لاین لرزهای دو بعدی پس از بر انبارش و داده های پترو فیزیکی فراهم شده است. پس از آن، داده های لاگ چاه با داده های لرزه ای تطابق می یابد برای تطابق بهتر بین چاه ها، افق های لرزهای بر روی مقطع لرزه ای تعیین شده است(شکل ۵)(Russell 2004). و تمام گام های این کار در پنجره ی آنالیزی انجام می شود.

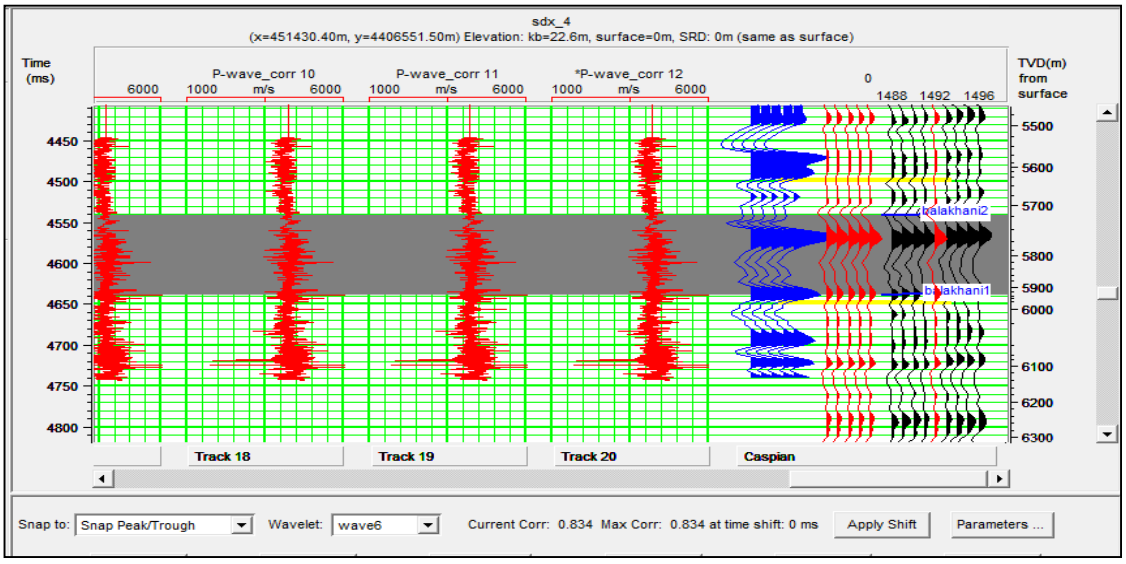


شکل-۵: موقعیت افق‌های لرزه‌ای (*Seismic Horizons*)سازند مخزنی

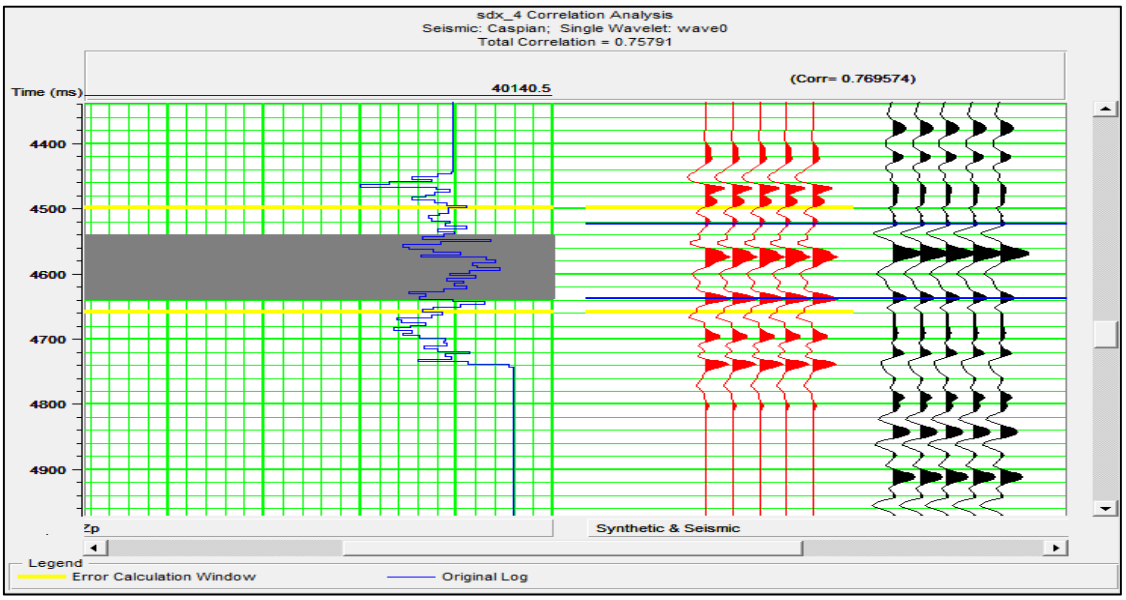
سپس لرزه نگاره های مصنوعی برای هر چاه تعیین شده است. برای محاسبه امپدانس صوتی ، سرعت صوت مقادیر چگالی ضرب میشود. امپدانس های صوتی سپس وسیله روابط عمق- زمان مناسب از عمق به زمان تبدیل می شوند. در نهایت امپدانس با موجک موجود همامیخت می شود تا لرزهنگاشت مصنوعی ایجاد شود(Kadkhodaie-Ilkhchi, Rezaee et al. 2009).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل-۶: نمونه‌هایی از تطابق داده‌های لرزه‌ای و نگارهای چاه‌پیمایی

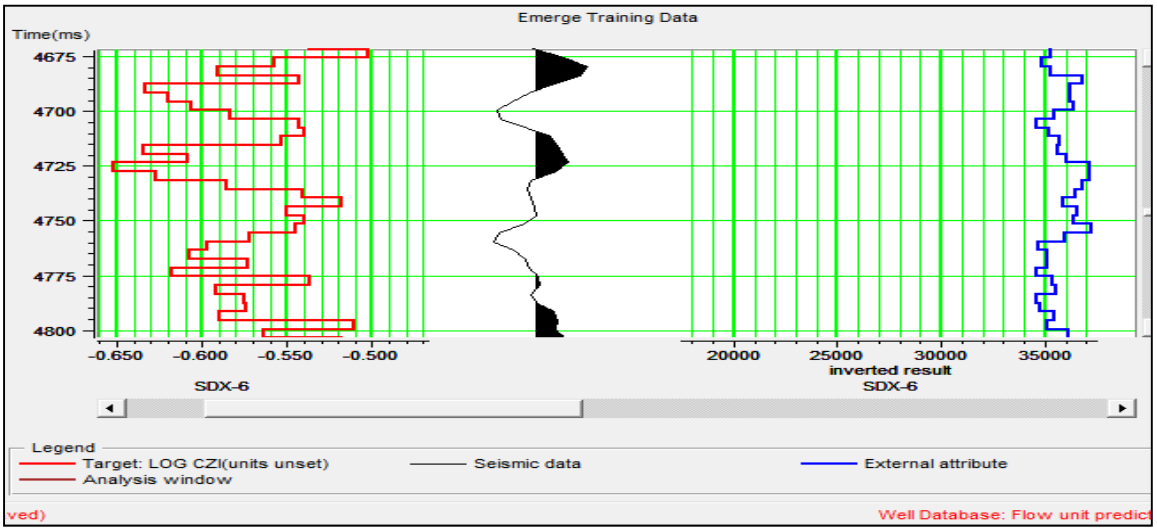


شکل -۷:نمونه‌ای از چگونگی تطابق داده‌های لرزه‌ای و نگارهای چاه‌پیمایی با استفاده از موجک لرزه‌ای میانگین

شوت کنترلی برای تبدیل عمق به زمان ضروری می باشد(Hart and Balch ۲۰۰۰).شاخص های بر اساس نمونه از مقطع لرزهای دو بعدی استخراج می شود تا اساس تخمین خصوصیات سنگی مورد پیشبینی گذاشته شود. بسیاری از این خصوصیات به وسیله نرم افزار ایجاد می شود به جز امپدانس صوتی که مستقل ایجاد شده است.پنجرهی آنالیزی هدف بین بالا و پایین مخزن ماسه سنگی گذاشته شده است. عدم قطعیت خصوصیت مخزنی مورد نظر با یک ارتباط معتبر بین اندازه گیری های لرزه ای و ویژگی های سنگی در محل چاه کاهش می یابد(Russell 1988). در محل چاه یک شاخص لرزهای برای ارتباط با خصوصیات لاگ به منظور تخمینمی تواند استفاده شود. این ارتباط بر پایه تبدیل داده های مقطع لرزهای به خصوصیات لرزه ای مورد نظر صورت می گیرد(شکل ۸).

www.SID.ir

Archive of SID



شکل-۸: نمونه‌ای از مجموعه داده‌های آموزشی نگار هدف به رنگ قرمز، رد لرزه مرکب در محل چاه به رنگ مشکی و امپدانس صوتی حاصل از وارون-سازی لرزه‌ای در محل چاه به رنگ آبی نشان داده شده است

ساده ترین عملکرد برای بدست آوردن ارتباط مورد دلخواه بین داده هدف و شاخص لرزهای فرض کردن ارتباط خطی داده هاست(Masters 1995). این نمودار اغلب ارتباط ضعیفی را نشان می دهند. پس از آن رگرسیون خطی چند گانه برای محاسبه بهینه و تعمیم خصوصیات مخزنی استفاده شده است. تکنیک رگرسیون چند گانه استفاده شده به منظور تعریف بهترین ترکیب شاخص ها و کمترین خطا عمل می کند(Hampson, Schuelke et al. ۲۰۰۱). شبکه عصبی احتمالی آخریت گامی است که برای پیش بینی FZI استفاده شده است. شبکه خطی عصبی احتمالی از روابط غیر خطی موجود بین داده های ورودی استفاده می کند. شبکه عصبی احتمالی به وسیله اعمال تبدیل های یکسان حاصل از محاسبات چند شاخصه مراحل قبل عمل می کند.

شکل-۹: نمودار اعتبارسنجی برای داده‌های میدان نمودارخطای اعتبارسنجی به رنگ قرمز مشاهده می‌شود. این نمودار پس از اضافه شدن هر نشانگر، در یک نقطه افزایش نشان می‌دهد و بدین صورت تعداد بهینه نشانگرها تعیین می‌شود

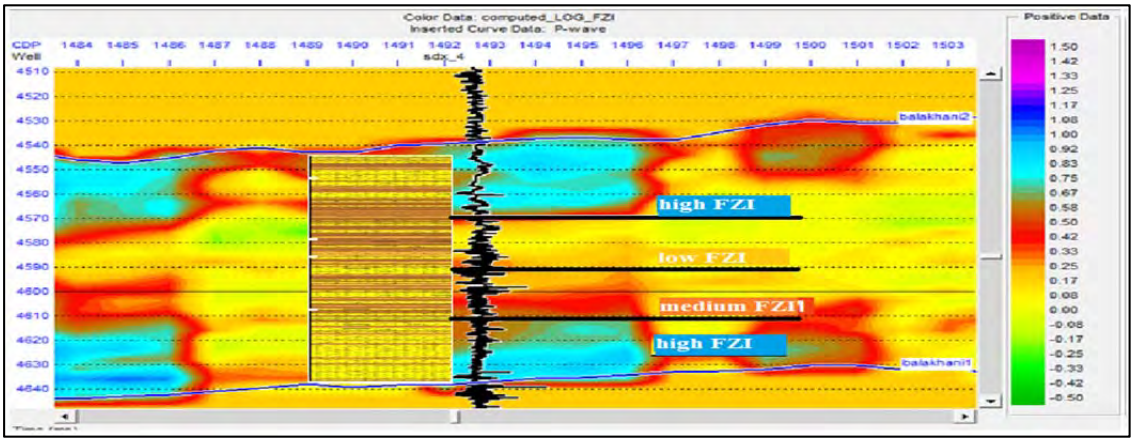
	target	Final attribute	Training error	Validation error
1	Sqrt(log FZI)	Dominant Frequency	0.421140	**0.580960**

www.SID.ir

Archive of SID

2	Sqrt(log FZI)	(Inverted result)**2	0.389103	**0.522888**
3	Sqrt(log FZI)	Amplitude Envelope	0.372185	**0.415889**
4	Sqrt(log FZI)	Cosine Instantaneous phase	0.367432	**0.437522**
5	Sqrt(log FZI)	Time	0.363855	**9.110350**

جدول-۱: جدول تعیین شاخص های لرزهای نهایی جهت آموزش شبکه



شکل -۱۰: مقطع توزیع شاخص‌های جریانی هیدرولیکی و مطابقت تغییرات آن باسنگ‌شناسی

نتیجه‌گیری

هدف اصلی این مطالعه تعیین واحدهای جریانی هیدرولیکیو ارائه مدلی با تلفیق داده‌های لاگ، مغزه و داده‌های لرزه‌ای دو بعدی بود. محاسبات واحد های جریانی هیدرولیکی دقت بالایی را با تغییرات سنگ شناسی نشان می دهد بنابرین در توصیف معماری و مدل استاتیکی یک مخزن ماسه سنگی رویکرد واحدهای جریانی هیدرولیکی بسیار کاربردی بوده است. تعمیم مدل توزیع این واحد ها در میدان مورد مطالعه و فواصل میان چاهی با استفاده از تلفیق نتایج برگردان لرزه ای با پارامتر های مورد مطالعه بدست آمده است و از این طریق به پیش بینی زون های هیدروکربن دار و محل مناسب حفاری ها کمک شده است. در استفاده از روش های مورد نظر به منظور پیدا کردن روابط غیر خطی ورودی ها و خروجی های مورد مطالعه، تخمین مقادیر FZI با استفاده ازنشانگرهای لرزه‌ای با بکارگیری مدل شبکه عصبی احتمالاتی (PNN) ایجاد شده، نشان داد که میزان همبستگی بین داده‌های مطلوب و مقادیر تخمین زده شده در میدان دارای مقادیر بسیار مناسب میباشد

مراجع

سعید یارمحمدی، (۱۳۹۱)، تعیین واحدهای جریانی هیدرولیکی و الکتریکی با استفاده از تلفیق داده‌های پتروفیزیکی، داده های لاگو نتایج برگردان لرزه ایدر یکی از میدان های آب عمیق حوضه ی خزر، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.

Al-Ajmi, F. and S. Holditch (۲۰۰۰). Permeability estimation using hydraulic flow units in a Central Arabia reservoir. SPE Annual Technical Conference and Exhibition.

Amaefule, J. O., Altunbay, M., Tiab, D., Kersey, D.G., Keelan, D.K (۱۹۹۳). Enhanced reservoir description: using core and log data to identify hydraulic (flow) units and predict permeability in uncored intervals/wells. spe. ۲۶۴۳۶: ۱–.۱۶

Carman, P. (۱۹۳۷). "Fluid Flow Through Granular Beds." Transactions - Institution of Chemical Engineeres :۱۵ .۱۶۶-۱۵۰

Hampson, D. P., J. S. Schuelke, et al. (۲۰۰۱). "Use of multiattribute transforms to predict log properties from seismic data." Geophysics۶۶(۱): .۲۳۶-۲۲۰

Hart, B. S. and R. S. Balch (۲۰۰۰). "Approaches to defining reservoir physical propertiesfrom ۳-D seismic attributes with limited well control: An example from the Jurassic Smackover Formation, Alabama." Geophysics۶۵(۲): .۳۷۶-۳۶۸

www.SID.ir

Archive of SID

Kadkhodaie-Ilkhchi, A., M. R. Rezaee, et al. (۲۰۰۹). "Petrophysical data prediction from seismic attributes usingcommittee fuzzy inference system." Computers & Geosciences۳۵(۱۲): .۲۳۳۰-۲۳۱۴
Masters, T. (۱۹۹۵). Advanced algorithms for neural networks: a C++ sourcebook, Wiley New York.
Russell, B. H. (۱۹۸۸). Introduction to seismic inversion methods, Soc of Exploration Geophysicists.
Russell, B. H. (۲۰۰۴). The application of multivariate statistics and neural networks to the prediction of reservoir parameters using seismic attributes.

www.SID.ir