

بررسی خصوصیات مخزنی با انجام وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای در سازند سروک جهت تخمین تخلخل در یک میدان نفتی

حمیدرضا همتی نیک^{۱*}، سید هاشم طباطبائی رئیسی^۱، مصطفی نظری فرد^۲، مدیریت اکتشاف

چکیده

امروزه اکتشاف منابع نفت و گاز در مناطقی متمرکز شده که پیچیدگی زمین‌شناسی دارند. نیل به این هدف نیازمند روش‌های جدید جهت شناسائی تله‌های چینه‌ای و تعیین رخساره‌های رسوبی است. استفاده از داده‌های لرزه‌ای به‌خصوص در ایران تا به امروز منحصر به تعیین ساختار و ژئومتری یک مخزن نفتی و تخمین خواص مخزنی در مناطق دور از کنترل چاه‌ها بوده است. استفاده از روش‌های کمی در تفسیر داده‌های لرزه‌ای به‌جای روش‌های کیفی در مراحل اکتشاف تا تولید مخازن نفتی، به‌مرور زمان جای خود را در صنایع بالادستی نفت پیدا کرده است. در این مطالعه تصحیح نمودارهای صوتی با اطلاعات لرزه‌ای موجود در چاه (چک‌شات)، تفسیر افق‌های لرزه‌ای، تهیه موجک و ساخت لرزه‌نگاشت مصنوعی، ایجاد انطباق بین اطلاعات چاه و لرزه‌نگاری، ساخت مدل اولیه، انجام وارون‌سازی و استفاده از روش‌های مختلف برای تعیین تخلخل انجام شده است. جهت انجام تعبیر و تفسیر در این میدان ابتدا با استفاده از نمودارهای صوتی و چگالی، موجک مصنوعی، تهیه و با موج حاصل از لرزه‌نگاری شبه‌سبعدهی در نرم‌افزار مقایسه شد. سپس سر سازندها مشخص و نقشه‌های زمانی و عمقی تهیه گردید. پس از آن، توسط نمودار پاگیری صوتی شبه‌حجمی با روش وارون لرزه‌ای تهیه شد. نشانگرهای لرزه‌ای کمک شایانی به برآورد خواص مخزنی سازند مورد مطالعه می‌کنند و با استفاده از آنها ساختارهای چینه‌ای (کانال) و شکستگی‌ها در تشخیص داده شد که برای توسعه‌ی این میدان و کاهش هزینه‌ی حفاری بسیار حائز اهمیت است. از جمله اهداف این مطالعه می‌توان به شناسایی تله‌های چینه‌ای و تعیین رخساره‌های رسوبی، تعیین و تخمین تخلخل در رخساره‌های رسوبی، استفاده از نشانگرهای مختلف در تخمین تخلخل و پیشنهاد نقاط با تخلخل زیاد جهت اهداف اکتشافی و توسعه اشاره کرد.

اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۷/۰۲/۱۲

تاریخ ارسال به داور: ۹۷/۰۲/۲۱

تاریخ پذیرش داور: ۹۷/۰۴/۲۳

واژگان کلیدی:

وارون لرزه‌ای، موجک مصنوعی، نشانگرها، تخلخل، ساختارهای چینه‌ای

مقدمه

با هم مقایسه کردند و بدین نتیجه رسیدند که استفاده از شبکه عصبی احتمالی^{۱۱} به دلیل راحتی و دقت محاسبات بهتر از رگرسیون چندگانه است [۶].

امروزه یکی از ابزارهای اصلی در تخمین کمی متغیرهای پتروفیزیکی، توصیف لرزه‌ای مخازن با استفاده از برگردان لرزه‌ای است که توان آن در تلفیق داده‌های گوناگون است. در سال‌های اخیر بهره‌برداری بهینه از منابع هیدروکربوری و حداکثر تولید با هزینه‌ی کمتر، باعث استفاده از داده‌های لرزه‌ای برای اکتشاف مستقیم هیدروکربن و تخمین متغیرهای مخزن و خواص پتروفیزیکی در مخازن تولیدی شده است. خصوصیات متفاوت بازتابش امواج صوتی بر لیتولوژی‌های مختلف موجب شده داده‌های لرزه‌نگاری یکی از مؤثرترین روش‌های اکتشاف منابع هیدروکربوری باشد. بدین منظور روش‌های مختلفی توسعه یافته‌اند که تفسیر کمی داده‌های لرزه‌ای را با توجه به خصوصیات لرزه‌ای در لرزه‌ها مدنظر دارند. از جمله‌ی این روش‌ها، وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای است که جهت به‌دست آوردن

معکوس‌سازی امپدانس صوتی در دهه‌ی ۱۹۷۰ مطرح و جایگزین ردلرزه‌ها^۳ برای بازتاب‌پذیری لایه‌ها شد [۱] و به‌مرور زمان با رشد فن‌آوری و دانش بشری ارتقاء یافت. در سال‌های اخیر کارهای زیادی در معکوس‌سازی داده‌های لرزه‌ای انجام شده است. چاوس^۴ و همکاران در ۱۹۹۷ [۲] نگار پرتو گامای طبیعی را با استفاده از شبکه‌های عصبی از روی نشانگرهای لرزه‌ای تخمین زدند. اگرچه این تخمین از روی داده‌های لرزه‌ای بین چاهی با کیفیت انجام شد اما سوتو^۵ و هولیچ^۳ از همان نشانگرهای لرزه‌ای با داده‌های لرزه‌ای سطحی، نگار گاما را تخمین زدند. بالچ^۷ و همکاران در سال ۱۹۹۹ رتبه‌بندی فازی را جهت یافتن بهترین نشانگرهای لرزه‌ای مرتبط با خصوصیات مخزنی به‌کار بستند و همبستگی بین نشانگرهای لرزه‌ای و تخلخل و اشباع آب و ضخامت نواحی بهره‌ده را توسط شبکه‌های عصبی مدل‌سازی کردند [۴]. در سال ۲۰۰۱ همپسون^۸ و همکاران [۵]، لپیارت^۹ و هارت^{۱۰} روش‌های رگرسیون خطی چندگانه و شبکه‌ی عصبی احتمالی را برای تخمین تخلخل از روی نشانگرهای لرزه‌ای

* نویسنده‌ی عهد‌دار مکاتبات (hemmatihamidreza89@gmail.com)

داده‌های لرزه‌ای (به‌عنوان ورودی) است [۸]. وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای را می‌توان به‌عنوان مدل‌سازی معکوس در نظر گرفت. هدف از وارون‌سازی لرزه‌ای تخمین امپدانس صوتی جهت بررسی بهتر مخزن از نظر سنگ‌شناسی، تخلخل و ماهیت سیال مخزن است. به‌دلیل هزینه‌های زیاد حفر چاه‌ها جهت دستیابی مستقیم به اطلاعات مربوط به خواص پتروفیزیکی، داشتن روش‌های جایگزین جهت دستیابی به چنین اطلاعاتی از اهمیت خاصی برخوردار است. وارون‌سازی لرزه‌ای به‌عنوان یکی از این نوع روش‌ها همواره مدنظر کارشناسان بوده است. یکی از روش‌های جدید جهت بررسی بهتر مخزن از نظر سنگ‌شناسی، تخلخل و ماهیت سیال مخزن، وارون‌سازی لرزه‌ای است که هدف اصلی آن تبدیل داده‌های انعکاس لرزه‌ای به متغیری قابل‌اندازه‌گیری و توصیف‌کننده‌ی مخزن است. در مقایسه با دامنه‌های لرزه‌ای، نتایج حاصل از وارون‌سازی، قدرت تفکیک بیشتری داشته و تفسیرهای دقیق‌تری را پشتیبانی می‌کنند [۹].

۱-۲- نشانگرهای لرزه‌ای

نشانگرهای لرزه‌ای توابع ریاضی مشتق شده از اطلاعات لرزه‌ای هستند که در حوزه‌های زمان و فرکانس از داده‌های لرزه‌ای استخراج

انواع نشانگرها	
اطلاعات	نوع نشانگر
اطلاعات ساختمانی	نشانگرهای حاصل از زمان
اطلاعات چینه‌شناسی و مخزنی	نشانگرهای حاصل از دامنه
خصوصیات خزن	نشانگرهای حاصل از فرکانس
سیال و نفوذپذیری	نشانگر میرایی انرژی



۱ | توالی انجام و ارون سازه لرزه‌ای

پاگیری صوتی در لایه‌های مختلف زیرسطحی به‌کار می‌رود. وارون‌سازی و نشانگرهای لرزه‌ای به‌خصوص امپدانس صوتی و خواص مخزنی (تخلخل و تراوایی) جهت شناسایی نوع و تغییرات لیتولوژی و کانال‌های زیرسطحی کاربرد مؤثری دارد. بنابراین با توجه به شناخت اطلاعات چینه‌ای زمین با استفاده از این ابزارها، تعیین محل مناسب چاه دقیق‌تر شده و ریسک حفاری به حداقل خواهد رسید.

وارون‌سازی لرزه‌ای مدت‌هاست برای اهداف اکتشافی و تولیدی در صنعت نفت استفاده می‌شوند. طی این مدت روش‌های وارون‌سازی از حالت‌های ابتدایی مثل روش‌های وارون‌سازی بازگشتی، به روش‌های متعدد و پیشرفته‌ی امروزی متحول شده و نرم‌افزارهای مختلفی برای انجام این کار در اختیار است. در وارون‌سازی، یک ردلرزه با باند محدود، به یک شبه‌ردلرزه (شبه‌نگار) مقاومت صوتی تبدیل می‌شود. کاربرد داده‌های مقاومت صوتی نیز از ارزیابی کیفی اهداف، به توصیف کمی خصوصیات مخزنی که برای مدل‌سازی مخزن ضروری هستند ارتقاء یافته است. برگردان لرزه‌ای ابزاری بسیار مناسب برای توصیف مخزن است. در این فرآیند داده‌های گوناگون شامل اطلاعات لرزه‌ای، اطلاعات نگارهای چاه، نتایج حاصل از مغزه، و آزمایش‌های تولید چاه‌ها، فشار مخزن اطلاعات زمین‌شناسی و بسیاری از اطلاعات دیگر از منابع وسیعی جمع‌آوری می‌شود. کیفیت برگردان نهایی نتیجه‌ای مستقیم از کیفیت داده‌های ورودی است. جهت تخمین دقیق یک مکعب امپدانس صوتی، مفسر باید با فرآیند پردازش لرزه‌ای، الگوریتم برگردان، جریان کار، جزئیات چاه‌های حفاری شده، فرآیند پردازش نگارها و ... همچنین با روش انتخاب برگردان آشنا باشد. از جمله اهداف این مطالعه می‌توان به شناسایی تله‌های چینه‌ای و تعیین رخساره‌های رسوبی، تعیین و تخمین تخلخل در رخساره‌های رسوبی، استفاده از نشانگرهای مختلف در تخمین تخلخل و پیشنهاد نقاط با تخلخل زیاد جهت اهداف اکتشافی و توسعه اشاره نمود.

۱- مفاهیم

۱-۱- وارون‌سازی لرزه‌ای

وارون‌سازی یا به‌عبارتی مدل‌سازی معکوس ژئوفیزیکی عبارت است از به‌نقشه درآوردن ساختار فیزیکی و شکل لایه‌های زیرسطحی زمین با استفاده از اندازه‌گیری‌هایی که در سطح زمین انجام می‌شود [۷]. وارون‌سازی، تبدیل داده‌های لرزه‌ای باند محدود به شبه‌نگارهای امپدانس صوتی باند پهن در هر تریس لرزه‌ای است. به‌عبارت دیگر وارون‌سازی لرزه‌ای، روشی برای ساختن مدل زمین با استفاده از

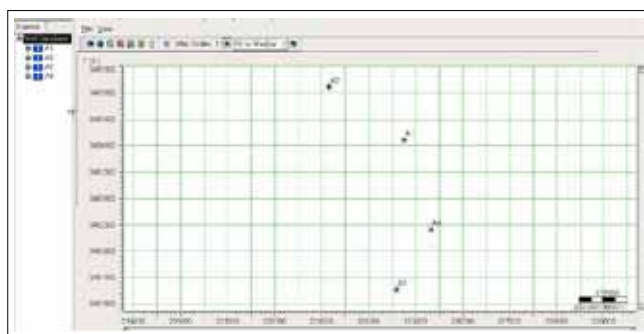
زمین‌شناسی میدان بوده و خصوصیات و کمیت‌های زمین‌شناسی تأثیر به‌سزایی در چگونگی پاسخ لایه‌های مختلف زمین به امواج لرزه‌ای حاصل از منبع موج دارند شناسایی خصوصیات زمین‌شناسی و بررسی ویژگی‌های زمین‌شناسی لایه‌های زمین، نقش شایانی در هرچه بهتر شدن تفسیر اطلاعات لرزه‌ای دارد.

منطقه‌ی مورد مطالعه در فروبار دزفول (زاگرس، جنوب‌غرب ایران) واقع شده است. فروبار دزفول به وجود میداین بزرگ نفتی مشهور است و لایه‌های مخزنی متعددی مثل سازندهای آسماری و سروک در آن گزارش شده است.

فرو افتادگی دزفول در جنوب‌باختری راندگی اصلی زاگرس واقع شد است. در سال ۱۳۱۰ این منطقه به‌نام دزفول ایمبایمنت نام‌گذاری شد. در ابتدا این نام معرف یک خاصیت توپوگرافیک بود اما در حالت کلی‌تر به ناحیه‌ای از حوضه‌ی زاگرس اطلاق می‌شود که در آن سازند آسماری فاقد رخنمون است. فروافتادگی دزفول توسط سه پدیده‌ی مهم ساختمانی احاطه شده از شمال به ناحیه‌ای خمشی با جهتی خاوری-باختری به‌نام خمش بالا رود، در حد شمال خاوری به ناحیه‌ی



۲ | مراحل تخمین تخلخل از طریق وارون‌سازی داده‌های لرزه‌ای و اطلاعات چاه



۳ | بارگذاری اطلاعات

می‌شوند. این اطلاعات پایه‌ای که شامل زمان، دامنه، فرکانس و جذب است طبقه‌بندی نشانگرها را ممکن می‌سازد. نشان‌گرهای لرزه‌ای می‌توانند در مراحل قبل و بعد از برانبارش از داده‌های لرزه‌ای استخراج گردند. نشانگرهای لرزه‌ای پس از برانبارش می‌توانند روی یک برش زمانی یا بین دو افق استخراج شوند [۱۰].

۱-۳- مقاومت صوتی

به‌کارگیری طیف گسترده‌ای از انواع نشانگرهای لرزه‌ای به‌خصوص امیدانس صوتی منجر به تحلیل بهتر خصوصیات مخزن با استفاده از روش‌های کلاسه‌بندی لرزه‌ای شده است. مهم‌ترین نشانگر لرزه‌ای قابل تهیه برای یک مقطع لرزه‌ای، مقاومت صوتی است. مقاومت صوتی حاصل ضرب چگالی در سرعت عبور موج از داخل لایه است. این نشانگر معرف سنگ‌شناسی لایه و تا حدی نشان‌دهنده‌ی سیال مخزنی موجود در لایه‌هاست [۱۱]. هدف مطالعات وارون‌سازی لرزه‌ای رسیدن به این نشانگر است.

از مشاهده‌ی تغییرات مقاومت صوتی در داخل یک لایه با ویژگی سنگ‌شناسی مشخص می‌توان به تغییرات رخساره‌ی سنگی لایه پی‌برد و بدین صورت مقاومت صوتی به‌عنوان نشانگری لرزه‌ای عمل می‌کند [۱۱]. با توجه به اینکه سرعت گذر موج از لایه‌ها با افزایش عمق و نیز تغییر سنگ‌شناسی تغییر می‌کند سنگ‌های متراکم‌تر و محکم‌تر، سرعت گذر موج را افزایش می‌دهند. از طرفی افزایش تخلخل در مخازن باعث کاهش سرعت گذر موج و در نتیجه کاهش مقاومت صوتی می‌شود [۱۲].

بنابراین می‌توان گفت مقاومت صوتی مهم‌ترین نشانگری است که با خصوصیات مخزنی نظیر تخلخل و سنگ‌شناسی در ارتباط است [۱۳].

۱-۴- موجک لرزه‌ای

موجک‌های معمول در عملیات لرزه‌نگاری بر اساس یک فاز به سه دسته‌ی کلی موجک مینیمم فاز، موجک با فاز صفر و موجک غیرمینیمم فاز تقسیم می‌شوند. یک موجک لرزه‌ای توسط شکل و محتوای طیفی (طیف فاز و طیف دامنه) تعریف می‌شود که فرکانس، دامنه و فاز موجک سه مشخصه‌ی کنترل‌کننده‌ی این دو هستند. زمان یک موجک لرزه‌ای ۵۰-۱۰ میلی‌ثانیه است. با احتساب سرعت میانگین برابر با ۳۰۰۰ متر بر ثانیه طول موج آن ۱۵۰-۳۰ متر متغیر است.

۲- زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه

با توجه به آنکه اطلاعات حاصل از لرزه‌نگاری تحت تأثیر خصوصیات

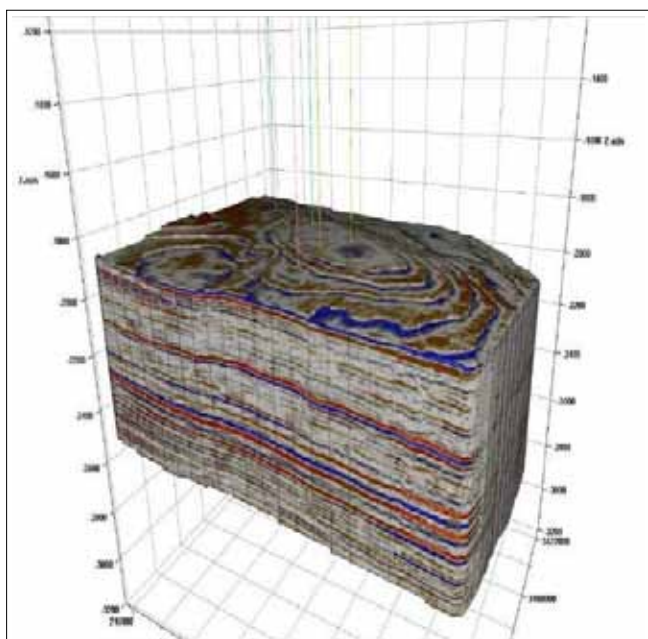
نرم‌افزار، افق‌های مورد مطالعه انتخاب شد. سپس تطابق چاه و مقطع لرزه‌ای و استخراج موجک در موقعیت چاه‌های مورد مطالعه انجام گردید. در مرحله‌ی بعد موجک میانگین، استخراج و مدل اولیه‌ای از اطلاعات نگاره‌های چاه‌ها در محدوده‌ی افق‌های لرزه‌ای مورد مطالعه ساخته شد. همان‌طور که گفتیم می‌توان با هم‌آمیخت موجک لرزه‌ای و ضریب بازتاب لرزه، نگاشت مصنوعی ایجاد کرد. حال در فرآیندی معکوس می‌توان با یک مدل واهم‌آمیخت، موجک لرزه‌ای را برداشت تا امپدانس صوتی در سرتاسر حجم لرزه‌ای حاصل شود. هدف اصلی این کار ایجاد مدل اولیه‌ای از امپدانس صوتی با استفاده از چاه‌هاست که مبنای وارون‌سازی لرزه‌ای قرار می‌گیرد.

۳-۱- داده‌های مورد استفاده

داده‌های مورد استفاده در این پروژه داده‌های لرزه‌ای سه‌بعدی، افق‌های تفسیر شده و اطلاعات چاه‌ها (لاگ‌ها، سرسازندها، اطلاعات سرعتی سازندها) است.

۳-۲- تخمین تخلخل

یکی از کاربردهای مهم امپدانس صوتی، تخمین تخلخل است؛ بدین ترتیب که با روش‌های رگرسیون بین امپدانس صوتی حاصل از برگردان داده‌های لرزه‌ای در محل چاه و نگار تخلخل برگرفته از چاه محاسبه به کل مکعب امپدانس صوتی تعمیم داده می‌شود و با استفاده از این رابطه تخلخل در کل مکعب محاسبه می‌گردد.

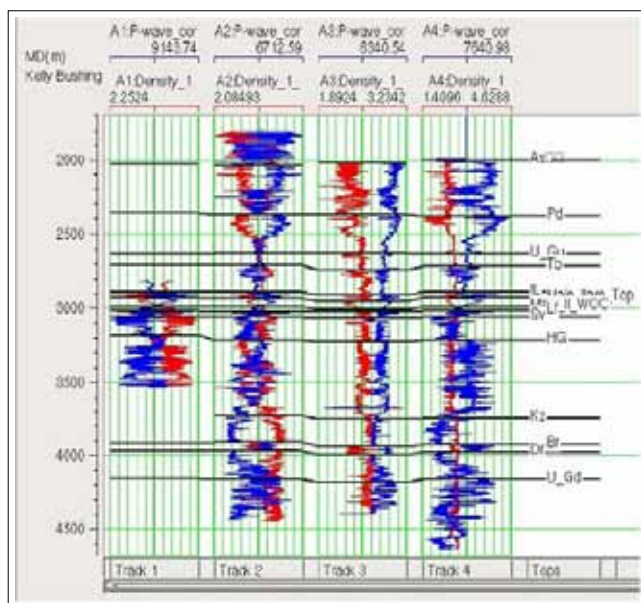


گسله‌ی دیگری به‌نام جبهه‌ی کوهستانی با راستای شمال‌باختری- جنوب‌خاوری و در حد خاور جنوب‌خاوری به این ناحیه‌ی پیچیده‌ی گسلی با امتداد شمالی-جنوبی به‌نام ناحیه‌ی گسله‌ی کازرون محدود می‌گردد. اکثر میادین نفتی ایران در ناحیه‌ی فروافتادگی دزفول قرار گرفته است.

سازند سروک بخشی از آهک‌های کرتاسه‌ی میانی است که در برش الگوی تنگه‌سروک و در یال جنوب‌غرب کوه بنگستان به‌ضخامت ۵/۲۵۴ متر اندازه‌گیری شده است. برش الگوی سازند سروک در تنگه‌سروک واقع در قسمت مرکزی دامنه‌ی جنوبی کوه بنگستان قرار گرفته و این سازند به سن سنومانین-تورونین نسبت داده شده است. بخش زیرین سازند سروک از ۲۵۰ متر آهک رسی دانه‌ریز خاکستری تیره به لایه‌بندی نودولار به‌همراه میان‌لایه‌ی مارن‌های آهکی خاکستری تیره‌ی آمونیت‌دار تشکیل شده بخش میانی شامل ۱۰۸ متر رسوبات کربناته‌ی گل سفید به‌صورت آهک توده‌ای حاوی نودول سیلیسی به‌رنگ قرمز مایل به قهوه‌ای دیده می‌شود.

۳-۳- روش کار

برای انجام وارون‌سازی در میدان مورد نظر، ابتدا داده‌های مربوط به نمودارهای صوتی و چگالی، اطلاعات مربوط به سرسازندها، چک‌شات^{۱۲}، افق‌های زمین‌شناسی و اطلاعات لرزه‌ای سه‌بعدی برانبارش شده، تهیه و مطالعه گردید. پس از بارگذاری اطلاعات در



۴ | بررسی کیفیت لاگ‌ها در پنجره‌ی مورد بررسی (ایلام-سروک) نمودارهای سونیک (قرمز) و چگالی (آبی) استفاده شده برای وارون‌سازی در مطالعه

۵ | بارگذاری مکعب لرزه‌ای

۳-۳- بارگذاری اطلاعات

چاه‌های مورد استفاده پس از بارگذاری از نظر وجود و صحت اطلاعات مورد نیاز بررسی می‌شوند.

۳-۴- بارگذاری مکعب لرزه‌ای

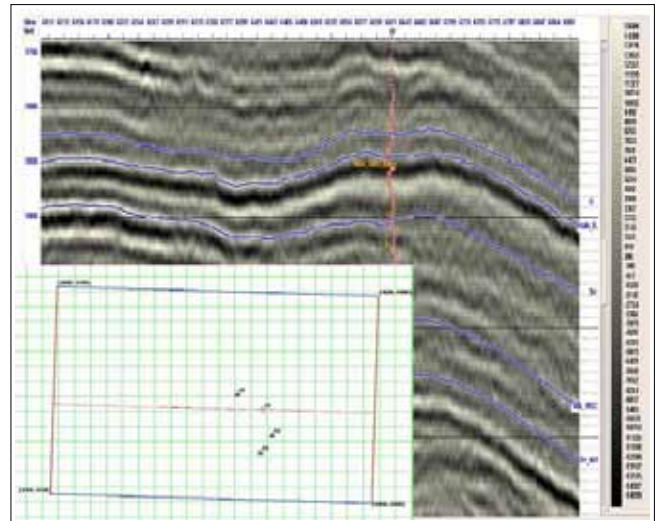
در زمان بارگذاری، مکعب مورد نظر بررسی و مقادیر مناسب محل بایتهای جهت بارگذاری صحیح و تطبیق مکانی چاهها انتخاب می‌شود.

۳-۵- بارگذاری افقها

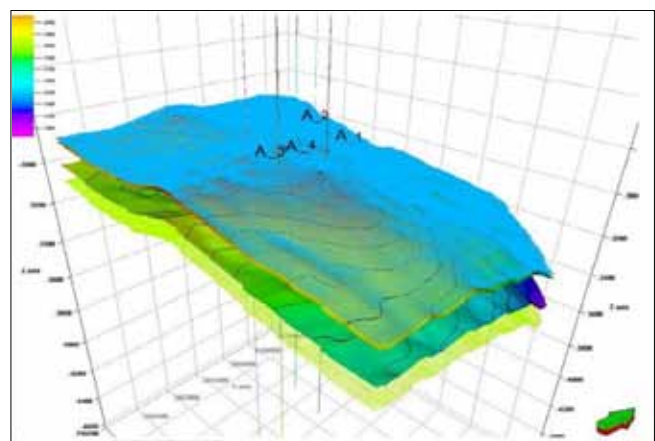
پس از بارگذاری افقها تمامی اطلاعات و تطابق آنها بررسی می‌شود.

۳-۶- تطابق لرزهنگاشت مصنوعی چاهها با اطلاعات لرزهنگاری

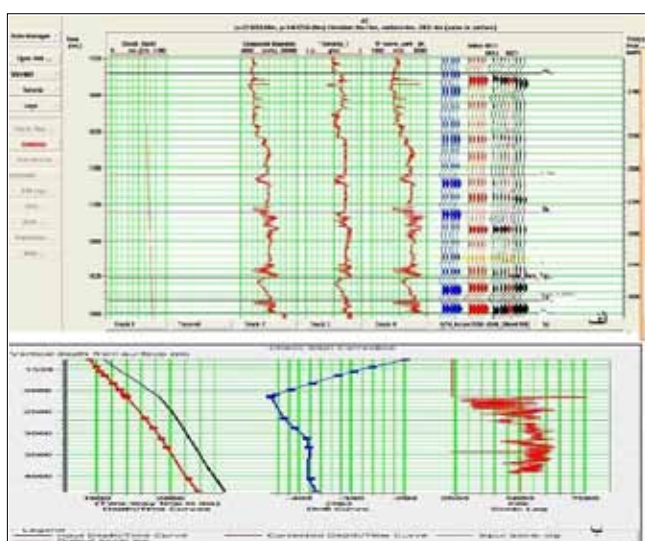
تریس‌های لرزه‌ای مصنوعی حاصل از چاهها با تریس‌های واقعی استخراج شده، در محل چاهها انطباق داده شده و در نهایت جداول تبدیل زمان-عمق چاهها اصلاح می‌گردد. ابتدا رابطه‌ی زمان-عمق نمودارهای صوتی^{۱۳} به کمک اطلاعات سرعتی^{۱۴} تصحیح شد (شکل ۹-ب). در مرحله‌ی بعد در محل چاهها لرزهنگاشت مصنوعی به کمک موجک استخراج شده از اطلاعات لرزه‌ای^{۱۵}، با فاز صفر ساخته شد و بعد از مقایسه با ردلرزه‌های مجاور در اطلاعات لرزهنگاری با اعمال جابجایی^{۱۶}، تطابق اولیه بین لرزهنگاشت مصنوعی اطلاعات لرزهنگاری انجام گردید. در مرحله‌ی بعد استخراج موجک لرزه‌ای با استفاده از اطلاعات لرزه‌ای و اطلاعات چاه انجام شد^{۱۷} تا اطلاعات مناسبی از فاز موجک لرزه‌ای به دست آید. سپس تطابق تمامی چاهها



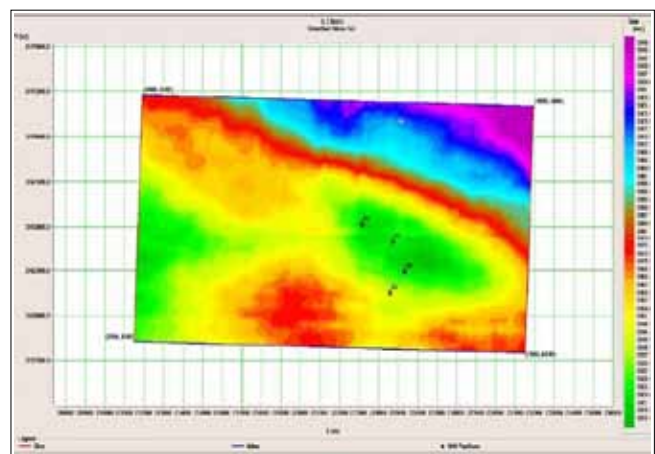
شکل ۶ | بارگذاری افقها



شکل ۷ | افق‌های تفسیر شده در پنجره‌ی مورد نظر در نمای سه‌بعدی همراه با محل چاهها-افق‌های تفسیر زمانی که در آن رنگ‌های روشن‌تر نشان‌دهنده‌ی زمان بیشتر است



شکل ۹ | الف) تطابق لرزهنگاشت مصنوعی چاهها با اطلاعات لرزهنگاری (ب) تصحیح رابطه‌ی زمان-عمق به کمک چکشات



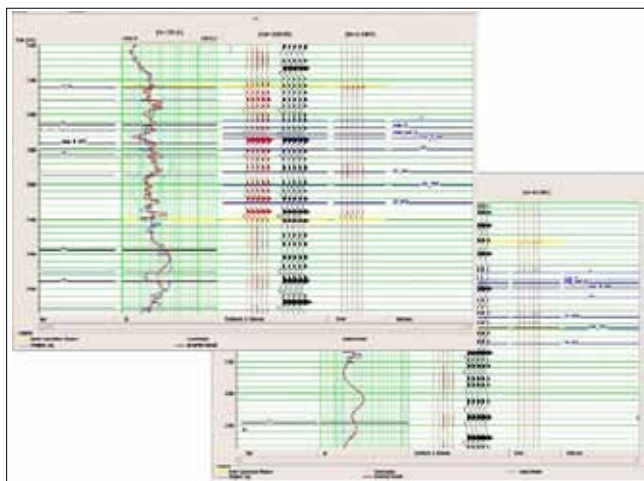
شکل ۸ | نقشه‌ی برش زمانی افق ایلام

از سری ضرایب بازتاب در محل چاه ساخته می‌شود. ابتدا با اعمال موجک دلخواهی، رد مصنوعی محاسبه شده و با ردلرزه‌ای در محل چاه مطابقت داده می‌شود. اگر خطا زیاد باشد، موجک را به گونه‌ای تغییر می‌دهند تا خطا کاهش یابد. این عمل تا زمانی ادامه می‌یابد که تطابق بین رد مصنوعی و لرزه‌ای مطلوب باشد.

پس از تطابق لرزه‌نگار مصنوعی چاه‌ها با اطلاعات لرزه‌ای در محل چاه‌ها و اصلاح جدول تبدیل به عمق چاه‌ها، موجک‌ها با استفاده از تمامی چاه‌ها ساخته شده و از نظر دامنه، فرکانس و فاز با یکدیگر مقایسه می‌گردند و در صورت ناهماهنگی در هر یک از متغیرهای چاه‌ها به قسمت تطابق بازگشته و اصلاحات مورد نیاز انجام می‌شود.

۳-۸- ساخت مدل زمین (مدل امیدانسی)

کاربرد مدل زمین‌شناسی در برگردان دو مزیت دارد. نخست محدود کردن جواب‌های ممکن در برگردان است؛ زیرا جواب برگردان یکی نیست و مدل‌های زیادی وجود دارند که از نظر ریاضی موجهند. در مدل زمین‌شناسی شرط‌های محدودکننده در هر عمق ایجاد می‌شوند و جواب برگردان، محدود به این شرط‌ها خواهد بود. مزیت دوم ایجاد اطلاعات فرکانس کم است. معمولاً نتیجه برگردان در فرکانس‌های کم از باند داده‌های لرزه‌ای به خوبی محدود نمی‌شود که می‌توان این داده‌ها را با استفاده از مدل زمین‌شناسی جایگزین کرد. مدل داده‌های نگارهای امیدانس از تقسیم نگار چگالی بر نگار صوتی چاه‌ها به دست می‌آید. افق‌های تفسیر شده از اطلاعات بزرگ مقیاس زمین‌شناسی مانند ناپیوستگی‌ها و توالی لایه‌ها نیز استفاده شده است. داده‌های لرزه‌ای باند محدود^{۱۸} دارند؛ به عبارت دیگر پهنای باند محدودی دارند

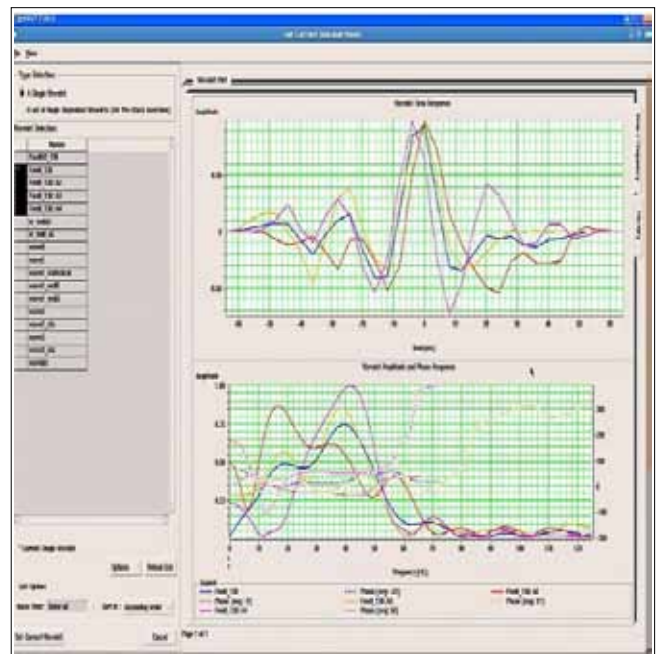


۱۲ | آنالیز وارون‌سازی در محل تکتک چاه‌ها و بررسی خطا و انطباق‌پذیری آنها مربوط به چاه‌های A1, A2

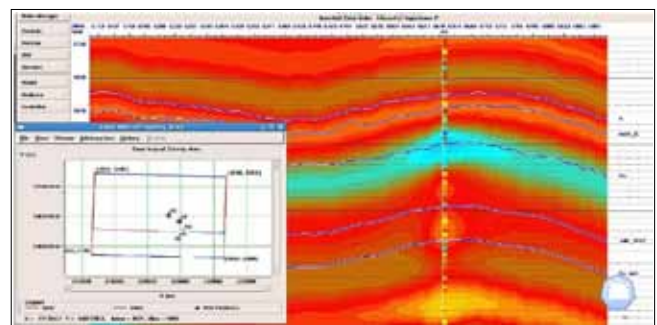
با موجک مربوط به خود انجام شد (شکل ۹-الف). از طرفی با استفاده از نمودار مقاومت صوتی چاه‌ها (حاصل ضرب نمودارهای صوتی و چگالی) مدل اولیه‌ی مقاومت صوتی ساخته شد.

۳-۷- استخراج موجک با استفاده از اطلاعات تمامی چاه‌ها و تک‌تک آنها

استخراج موجک در قلب هر روش برگردان لرزه‌ای قرار می‌گیرد و شکل موجک استنتاج‌شده‌ی لرزه‌ای به شدت بر ارزیابی کیفیت مخزن اثر می‌گذارد. بنابراین دانش کافی در مورد موجک موجود در داده‌های لرزه‌ای، از اساسی‌ترین اصول برگردان را تشکیل می‌دهد. روش استخراج موجک، برگردان لرزه‌ای در محل چاه است. این روش با استفاده از اطلاعات نگارهای چگالی و صوتی، مدلی



۱۰ | استخراج موجک با استفاده از اطلاعات تمامی چاه‌ها و تک‌تک آنها

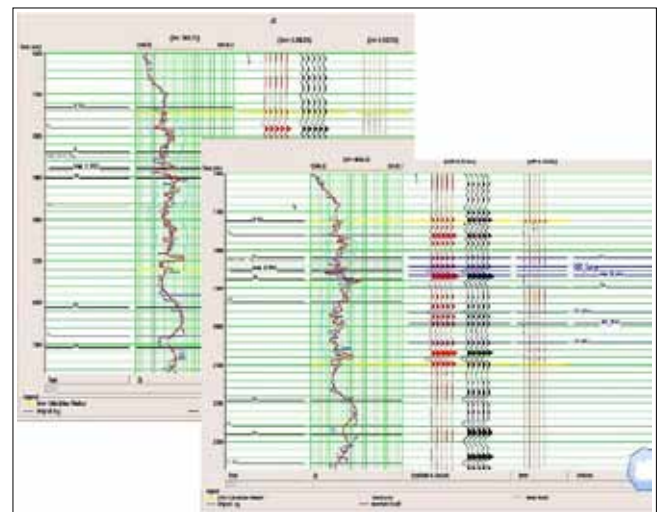


۱۱ | استخراج مدل اولیه‌ی امیدانس صوتی با استفاده از اطلاعات تمامی چاه‌ها و اعمال فیلتر زیرگذر (۱۰-۰ هرتز)

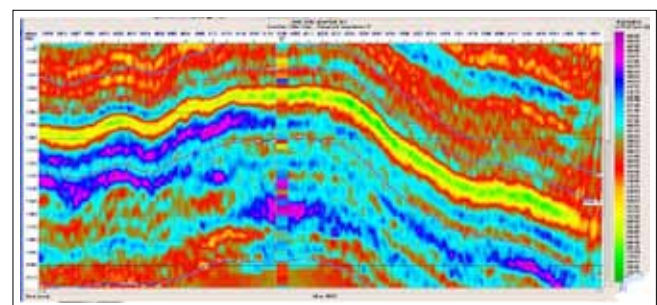
و بنابراین فرکانس‌های کم و زیاد را شامل نمی‌شوند. بنابراین علاوه بر داده‌های لرزه‌ای، یک مدل مقاومتی فرکانس کم نیز به‌عنوان اطلاعات اولیه در وارون‌سازی استفاده می‌شود [۱۱].

۹-۳- آنالیز وارون‌سازی در محل چاه‌ها

در این مرحله وارون‌سازی در محل چاه انجام می‌شود. هدف، آزمایش متغیرهای وارون‌سازی است تا متغیرهای مناسبی انتخاب شده و پس از آن وارون‌سازی بر کل حجم داده اعمال گردد. در این قسمت جهت چک کردن وارون‌سازی در محدوده‌ی چاه‌ها، نتایج حاصل، بررسی، مقاومت صوتی اولیه با مقاوت صوتی حاصل از وارون‌سازی مقایسه و ضریب هم‌بستگی بین آنها مشخص می‌شود. نگارهای آبی، نگارهای اولیه‌ی چاه و نگارهای قرمز نتایج وارون‌سازی هستند. برای حصول نتایج مناسب از وارون‌سازی، باید متغیرها طوری انتخاب شوند که تا حد امکان نگارهای قرمز بر نگارهای آبی منطبق



شکل ۱۳ | ارزیابی وارون‌سازی لرزه‌های مبتنی بر مدل در محل چاه‌های A3, A4. سمت چپ، نمودارهای مدل اولیه‌ی وارون‌سازی، نگار مقاومت صوتی اصلی و نتیجه‌ی وارون‌سازی/رسمت راست: همبستگی بین لرزه‌نگاشت مصنوعی و واقعی در محل چاه



شکل ۱۴ | مقطع مقاومت صوتی حاصل از وارون‌سازی

باشند (شکل‌های ۱۲ و ۱۳).

۱۰-۳- انجام وارون‌سازی و استخراج مکعب وارون‌سازی

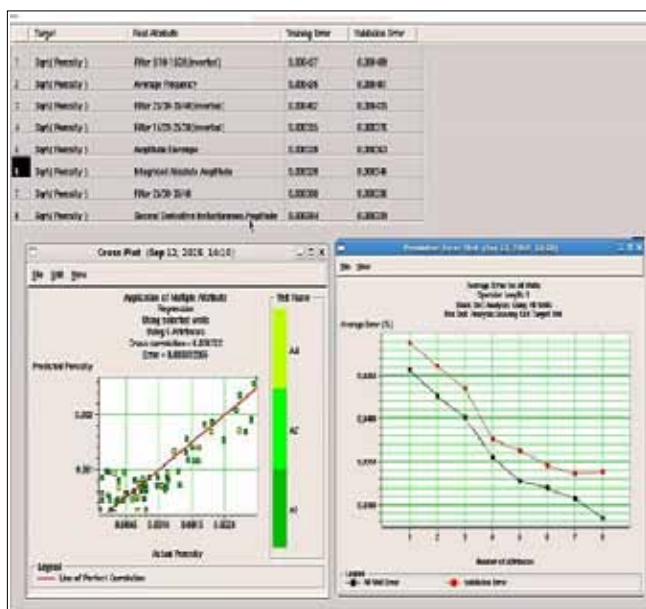
پس از استخراج موجک مناسب، تهیه‌ی مدل اولیه، آنالیز وارون‌سازی در محل چاه‌ها و اطمینان از قابل قبول بودن انطباق وارون‌سازی انجام شده و جهت بررسی صحت وارون‌سازی، در محل چاه‌ها انطباق لاگ امپدانس حاصل از چاه‌ها و مکعب وارون‌سازی شده انجام می‌گردد. با استفاده از اطلاعات لرزه‌نگاری، موجک حاصل و مدل اولیه، متغیرهای وارون‌سازی بر مبنای مدل در محل چاه‌ها تعیین و در نهایت وارون‌سازی لرزه‌ای روی کل اطلاعات انجام شد. خروجی وارون‌سازی لرزه‌ای، مکعب مقاومت صوتی است (شکل-۱۴).

۱۱-۳- آنالیز چندنشنگری

پس از ساخت مکعب وارون‌سازی، از آن به‌عنوان نشانگری خارجی استفاده می‌شود و با استفاده از ترکیب نشانگرهای داخلی و خارجی، مجموعه‌ای مناسب از نشانگرها جهت اعمال بر مکعب لرزه‌ای و استخراج مکعب تخلخل ایجاد می‌گردد. بررسی خطای جمعی و اعتباری به انتخاب مجموعه‌ای از نشانگرها کمک می‌کند.

۱۲-۳- بررسی مجموعه‌ی نشانگرها در محل چاه‌ها

مجموعه‌ی نشانگرهای مناسب حاصل از آنالیز در محل چاه‌ها، اعمال و نتایج آن با نمودار تخلخل چاه‌ها مقایسه می‌گردد.

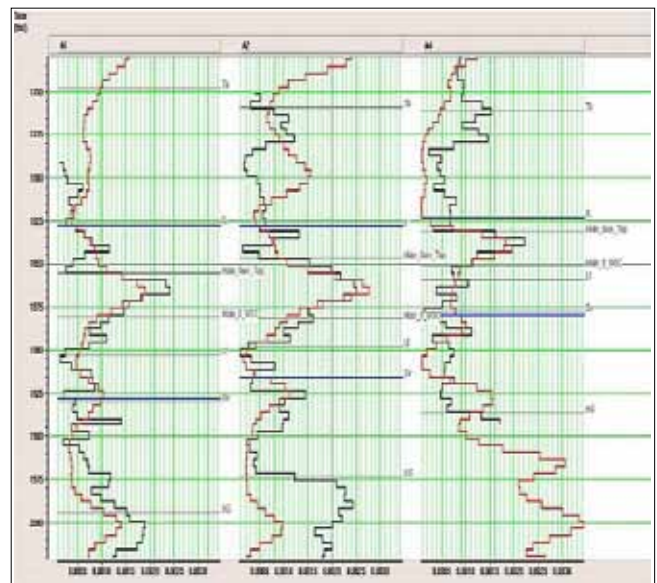


شکل ۱۵ | نمودار اعتبارسنجی متقاطع بین نگار تخلخل هدف نگار تخلخل حاصل از روش نشانگرهای چندگانه

۱۳-۳- اعمال مجموعه‌ی نشانگرها و استخراج مکعب تخلخل

پس از حصول اطمینان از مناسب بودن نتیجه در محل چاه‌ها، نشانگرهای انتخابی بر کل مکعب، اعمال، مکعب تخلخل، استخراج و با نمودار تخلخل حاصل از چاه‌ها مقایسه می‌شود. با توجه به وجود نمودار نوترون-تخلخل چاه‌های مدنظر، ارتباط بین این نمودار و نشانگرهای لرزه‌ای (از جمله مکعب مقاومت صوتی) در محل چاه‌ها تعیین گردید. این رابطه بر مکعب لرزه‌ای و مکعب مقاومت صوتی حاصل از وارون‌سازی اعمال شد و مکعب تخلخل به دست آمد.

مقطع زمانی در محدوده‌ی مورد نظر با روش میانگین مربعات استخراج شده که به ترتیب رنگ‌های تیره‌تر، تخلخل کمتر و رنگ‌های روشن‌تر، تخلخل بیشتر را نشان می‌دهند.



شکل ۱۶ | بررسی مجموعه‌ی نشانگرها در محل چاه‌ها

۴- تفسیر نتایج

با توجه به مکعب تخلخل و مقطع زمانی آن در افق مورد نظر مشهود است که از نظر تخلخل، محل چاه A2 نسبت به چاه‌های دیگر مناسب‌تر بوده است (شکل-۱۹).

مکعب تخلخل و مقطع زمانی آن در افق مورد نظر نشان می‌دهد که محل مشخص شده از نظر تخلخل شرایط مناسب‌تری دارد و می‌تواند به‌عنوان گزینه‌ی احداث چاه‌های آتی مدنظر قرار گیرد (شکل-۲۰).

نتایج

■ با استفاده از روش وارون‌سازی امکان تخمین تخلخل با دقت مناسب در یک میدان فراهم می‌شود.

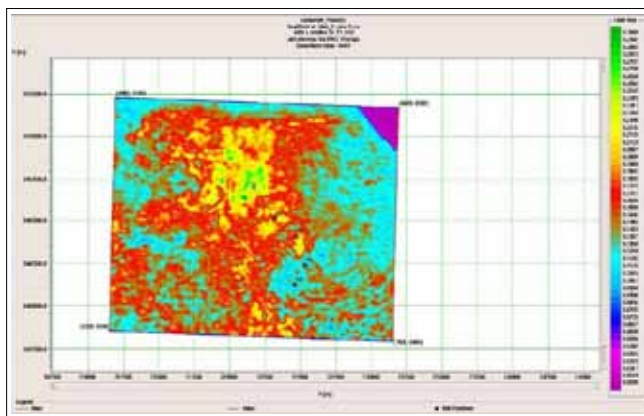
■ نشانگرهای مختلف تأثیر قابل‌توجهی در تخمین تخلخل توسط وارون‌سازی لرزه‌ای دارد که در این تحقیق تعداد بیست نشانگر داخلی و خارجی برای تخمین تخلخل استفاده شد.

■ نتیجه‌ی تخمین تخلخل توسط تک‌نشانگری نشان داد که نشانگرهای (Filter inverted) ۰/۰۰۰۴۵۷ و ۰/۰۰۰۴۲۶ خطای (جمعی-اعتباری) داشتند که در میان نشانگرهای استفاده شده کمترین خطا بوده است.

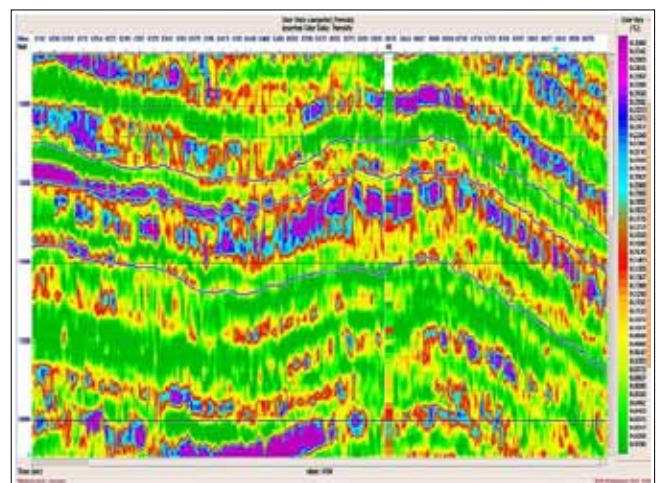
■ تحلیل و بررسی خطای ناشی از تخمین تخلخل توسط نشانگرهای مختلف نشان داد که شش نشانگر کمترین خطا را دارند و نمودار هم‌بستگی بین تخلخل پیش‌بینی و تخلخل واقعی ضریب هم‌بستگی ۸۷ درصد دارد.

■ با این روش می‌توان محل‌های مناسبی جهت حفاری‌های آتی پیشنهاد کرد.

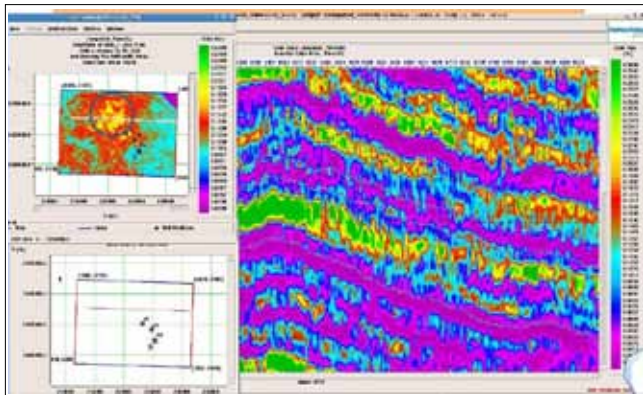
■ با توجه به نقشه‌ی تخمینی تخلخل، برخی چاه‌ها در محل‌های مناسب حفاری نشده‌اند که می‌تواند دلیلی بر تولیدی نبودن آنها باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود در انتخاب محل‌های حفاری بعدی حتماً از این روش استفاده شود. ■



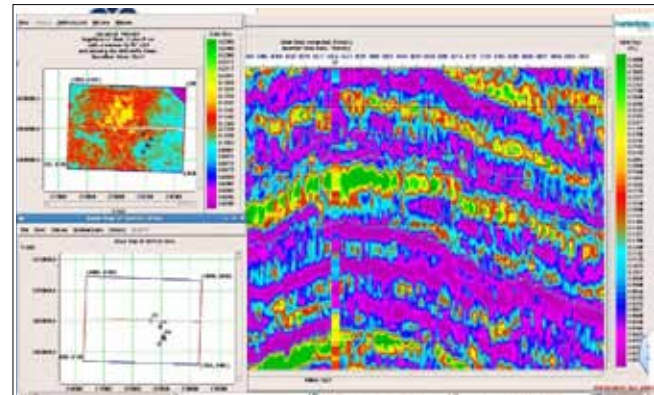
شکل ۱۷ | مقطع زمانی از مکعب تخلخل در محدوده‌ی ایلام-سروک



شکل ۱۸ | مقطع زمانی در محدوده‌ی مورد نظر



شکل ۲۰ | نقشه‌ی توزیع تخلخل منطقه‌ی مورد مطالعه



شکل ۱۹ | مکعب تخلخل و مقطع زمانی آن در افق مورد نظر

پانویس‌ها

1. Dr_tabatabaee@yahoo.com
2. mostafa.nazary.fard@gmail.com
3. Trace
4. Chawathe
5. Soto
6. Holditch
7. Balch
8. Hampson
9. Leiphart
10. Hart
11. Probabilistic Neural Network
12. CheckShot
13. sonic
14. Check shot
15. statistical wavelet
16. shift
17. stratigraphic wavelet extraction
18. Band Limited

منابع

- [1] Lindseth, R.O., 1979. Synthetic sonic logs-a process for stratigraphic interpretation, Society of Exploration Geophysicists, Vol 44, No. 1, pp. 263-.
- [2] Chawathe, A., Ouenes, A., Weiss, W., 1997. Interwell property mapping using crosswell seismic attributes. In: Proceedings Society of Petroleum Engineers (SPE) Annual Technical Conference and Exhibition, San Antonio, Texas, Paper 38747.
- [3] Soto, B., Holditch, S., 1999. Development of reservoir characterization models using core, well log, and 3D seismic data and intelligent software. In: Proceedings Society of Petroleum Engineers (SPE) Eastern Regional Conference and Exhibition, Charleston, West Virginia, Paper 57457.
- [4] Balch, R., Stubbs, B., Weiss, W., Wo, S., 1999. Using artificial intelligence to correlate multiple seismic attributes to reservoir properties. In: Proceedings Society of Petroleum Engineers (SPE) Annual Technical Conference and Exhibition, Houston, Texas, Paper 56733.
- [5] Hampson, D., Schuelke, J., Quirein, J., 2001. Use of multiattribute transforms to predict log properties from seismic data. Geophysics 66 (1), 220-236.
- [6] Leiphart, D., Hart, B., 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 (5), 1349-1358.
- [7]-Russell, B., 1988, Introduction to seismic inversion methods: The SEG course notes Series,2.
- [8] Russell, B., 1988. Introduction to seismic inversion methods: Society of Exploration Geophysicists. (Course notes from SEG Continuing Education course)
- [9] Waples, D.W., 1985. Geochemistry in petroleum exploration. International Human Resources Development Corporation, Boston, 215 pp.
- [10] Brown A., , "Understanding Seismic Attributes, Geophysics, Original from the University of Michigan," Vol.66, pp. 472001,49-.
- [11] Telford W. M., and Sheriff R. E., and Geldart, L. P., and Keys, D. A., "Applied Geophysics,Cambridge" University Press. pp. 4921976 ,493-.
- [۱۲] مختاری، محمد، لرزه‌نگاری آسان، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، ص ۵۱-۹، ۱۳۸۰.
- [۱۳] معمار ضیاء، ع.، نقش تعبیر و تفسیر داده‌های لرزه‌ای بازتابی در اکتشاف منابع هیدروکربوری، روابط عمومی شرکت نفت فلات قاره‌ی ایران، ص ۵۴-۲۱ و ۲۶۳-۲۰۸، ۱۳۸۳.