ن. فیزیک زمین و فضا، جلد ۲۸، شماره ۲، ۱۳۸۱، صفحهٔ ۱۷-۲۱

کاربرد نشانگرهای لرزه‌نگاری شیب و ضخامت واقعی در تفسیر اطلاعات بازتابی

ایرج عبدالهی‌فرد* و جاوید حسن‌زاده‌آذر*

*مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران،

دریافت مقاله: ۸۰/۱۱/۲۴ پذیرش مقاله: ۸۱/۱۰/۲۲

چکیده

به‌کارگیری نشانگرهای لرزه‌نگاری یکی از متداول‌ترین و بهینه‌ترین روش‌های بررسی و شناخت تغییرات زیر سطحی است. در این میان، نشانگرهای لرزه‌نگاری شیب و ضخامت واقعی می‌تواند نقش به‌سزایی در اکتشاف و تولید ذخایر هیدروکربوری، تشخیص پدیده‌های ساختمانی از قبیل گسل خوردگی و همچنین به تصویرکشیدن لبه‌های تغییرات چینه‌شناسی داشته باشد.

در این مقاله، نحوهٔ به‌کارگیری شاخص‌های لرزه‌نگاری شیب و ضخامت واقعی در تعیین جابه‌جایی برخی گسل‌ها در لایه‌ای مخزنی، واقع در شمال شرق ایران ارائه می‌شود. همچنین چگونگی تهیهٔ نقشه ضخامت واقعی این افق مخزنی، از روی نقشه نشانگر لرزه‌نگاری شیب و نقشه‌های عمقی، مورد بحث قرار می‌گیرد.

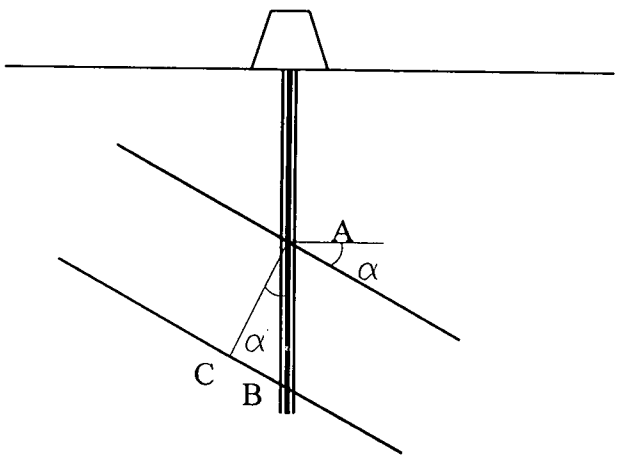
کلیدواژه: لرزه‌نگاری دوبعدی، لرزه‌نگاری سه‌بعدی، نشانگر لرزه‌ای، شیب واقعی، شیب ظاهری، سنگ مخزن ماسه‌سنگی

۱ مقدمه

بهترین راه اندازه‌گیری ضخامت لایه‌ها، اندازه‌گیری مستقیم آنهاست ولی اندازه‌گیری مستقیم معمولاً زمانی که رخنمون خوبی از لایه‌ها وجود دارد، امکان‌پذیر است. به‌ویژه اگر لایه‌های ذکر شده در اعماق باشند، اندازه‌گیری ضخامت لایه‌ها تنها از طریق حفر گمانه یا چاه و یا با استفاده از روش‌های اکتشافی همانند لرزه‌نگاری بازتابی امکان‌پذیر است. برای اندازه‌گیری ضخامت واقعی لایهٔ شیبدار، سطح رخنمون یافته یا گمانه یا چاه حفاری شده باید به همان نسبت مایل باشد (مارشاک و میترا، ۱۹۸۸). در این مقاله سعی شده است تا نحوهٔ محاسبهٔ ضخامت واقعی لایه‌ها از روی شیب و ضخامت ظاهری آنها با استفاده از تعبیر و تفسیر اطلاعات لرزه‌نگاری بازتابی به‌ویژه اطلاعات لرزه‌نگاری سه‌بعدی و کاربرد آن در اکتشاف و تولید ذخایر هیدروکربوری و همچنین تشخیص پدیده‌های ساختاری از قبیل گسل و نظایر آن، با ذکر نمونه توضیح داده شود.

۲ محاسبهٔ ضخامت واقعی

ضخامت واقعی را می‌توان به‌سادگی طبق فرمول ۱ با استفاده از شیب لایه و همچنین ضخامت لایه در راستای قائم حساب کرد (شکل ۱).



شکل ۱. ضخامت واقعی و ضخامت ظاهری.

$$AC = AB\cos(\alpha) \qquad (1)$$

AB ضخامت ظاهری در راستای قائم، AC ضخامت واقعی و α شیب لایه است.

شکل ۱ محاسبهٔ ضخامت واقعی را در یک گمانه یا چاه نشان می‌دهد. شیب لایه را می‌توان از روی مغزه (راگان، ۱۹۸۵) و یا از نمودار شیب‌سنجی در چاه‌های اکتشافی یا تولیدی محاسبه نمود.

در اطلاعات لرزه‌نگاری دوبعدی یا سه‌بعدی پردازش شده، فرض بر این است که امواج لرزه‌ای به‌صورت عمودی از چشمه لرزه‌ای حرکت می‌کنند و بعد از برخورد به سطوح مشترک لایه‌های با مقاومت صوتی متفاوت، در همان راستا به طرف بالا می‌روند و در نهایت این امواج بازتابنده در سطح مبنا به وسیلهٔ گیرنده‌ها ثبت می‌شوند. بنابراین در صورت تفسیر اطلاعات لرزه‌نگاری و تهیهٔ نقشه‌های هم‌ضخامت، این نقشه‌ها بیانگر ضخامت ظاهری لایه‌ها در راستای قائم هستند و فقط در صورتی‌که لایه‌ها کاملاً افقی باشند، نقشه هم‌ضخامت، می‌تواند تغییرات ضخامت واقعی را نشان دهد.

۳ تهیه نقشه‌های هم‌ضخامت

نقشه‌های هم‌ضخامت از دیرباز در شاخه‌های مختلف علوم زمین از جمله در صنعت اکتشاف و تولید ذخایر هیدروکربوری، مورد استفاده قرار گرفته است. نقشه‌های هم‌ضخامت برای پیش‌بینی محل بهینه حفاری و محاسبهٔ حجم مخزن و همچنین در مطالعات رسوب‌شناسی و تکتونیکی و دیرینه جغرافیا کاربرد دارد.

برای تهیه نقشه‌های هم‌ضخامت ابتدا رأس و قاعده یک لایه در مقاطع لرزه‌نگاری کوچ یافتهٔ زمانی، مورد تفسیر قرار می‌گیرد. اگر اطلاعات لرزه‌نگاری به‌صورت دوبعدی باشد در آن صورت لازم است افق‌های تفسیر شده به نقشه‌های شبکه تبدیل شود و برای این منظور ابتدا باید پارامترهای شبکه‌بندی همچون ابعاد شبکه و جهت‌های شبکه تعریف شود. معمولاً خطوط لرزه‌نگاری دوبعدی با تراکمی در حد چند کیلومتر برداشت می‌شود و ابعاد شبکه را بر مبنای فاصله خطوط لرزه‌نگاری دوبعدی تعیین می‌کنند (برای مثال ۳۰۰ × ۳۰۰ متر). همچنین راستای شبکه براساس بی‌هنجاری زمین‌شناختی همانند محور تاقدیس‌ها و همچنین راستای خطوط لرزه‌نگاری دوبعدی مشخص می‌شود. در اطلاعات لرزه‌نگاری سه‌بعدی، ابعاد شبکه برابر با ابعاد Bin است (معمولاً ۲۵ × ۲۵ متردر لرزه‌نگاری خشکی).

بعد از تهیه نقشه‌های زمانی رأس و قاعدهٔ یک لایه، نقشهٔ همزمانی را می‌توان تهیه کرد. همچنین اگر مدل سرعت مناسبی را به کار بریم، می‌توانیم نقشه‌های زمانی را به نقشه‌های عمقی تبدیل کنیم. برای مثال می‌توان سرعت‌های برآورد شده در مراحل پردازش را با سرعت‌های حاصل از چاه، میزان و تصحیح نمود. در نهایت با استفاده از نقشه‌های زمانی و سرعتی مربوط به افق تفسیر شده مورد نظر، نقشه عمقی به‌دست می‌آید. با داشتن نقشه‌های عمقی رأس و قاعدهٔ یک لایه، نقشهٔ هم‌ضخامت برای آن لایه تهیه می‌شود.

در صورتی‌که اطلاعات لرزه‌نگاری عمقی باشند می‌توان به‌طور مستقیم، نقشه‌های عمقی و هم‌ضخامت را تهیه نمود. رأس و قاعده یک لایه ممکن است موازی نباشند از این رو شیب سطح یا قاعده لایه، معرف شیب کل لایه نیست. برای محاسبهٔ شیب میانگین لازم است سطح حدواسط بین بالا و پایین لایه، به عنوان سطح میانگین آن لایه محاسبه شود(رابطه ۲).

(۲) ۲ / (شبکه عمقی قاعده لایه + شبکه عمقی رأس لایه)=شبکه عمقی حدواسط

در راستاهای X , Y، می‌توان شیب ظاهری را از شبکهٔ عمقی سطح حدواسط لایهٔ مورد تفسیر محاسبه نمود. با دردست داشتن دو شیب ظاهری در دو راستای عمود بر هم، مقدار شیب واقعی و همچنین راستای شیب واقعی را می‌توان حساب کرد (برای آگاهی بیشتر به راگان (۱۹۸۵) مراجعه شود). بدین ترتیب شبکهٔ شیب عمقی و شبکهٔ راستای شیب به‌دست می‌آید.

با استفاده از رابطهٔ ۱ مقادیر ضخامت واقعی را در نقاط شبکه از روی مقادیر شبکهٔ شیب و ضخامت ظاهری می‌توان حساب نمود. نقشه یا شبکه ضخامت واقعی به مثابهٔ مسطح سازی سه‌بعدی لایه

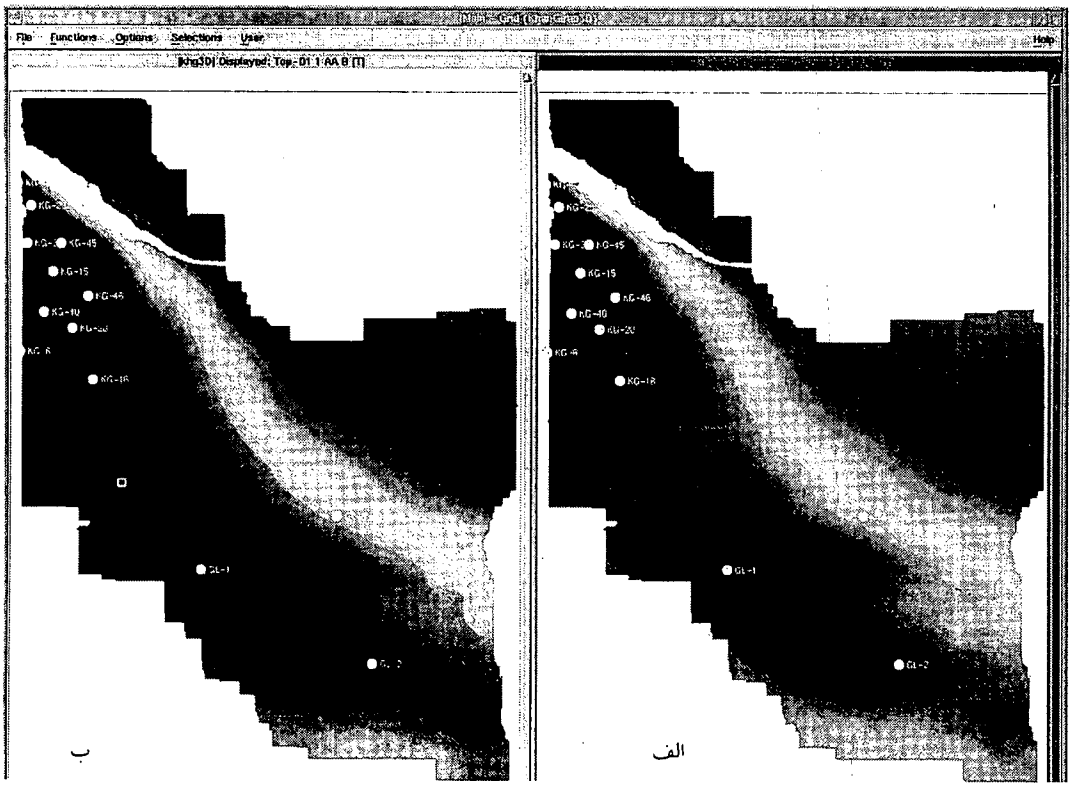
در اطلاعات لرزه‌نگاری سه‌بعدی، کوچ اطلاعات لرزه‌نگاری با نیست و نقشهٔ ضخامت واقعی را نمی‌توان در محاسبات حجم لایه به‌کار برد.

کیفیت بهتری انجام می‌پذیرد و بنابراین نقشه‌های ضخامت ظاهری و در نهایت نقشه‌های ضخامت واقعی با کیفیت بهتری تهیه می‌شود. علاوه بر این، ابعاد شبکه در اطلاعات لرزه‌نگاری سه‌بعدی کوچک است (قدرت تفکیک بالا) و از این لحاظ می‌توان مقادیر شیب را با دقت زیادی محاسبه نمود.

در اطلاعات لرزه‌نگاری دوبعدی ابعاد شبکه بزرگ است و در نتیجه مقادیر محاسبه شده شیب تا حدودی تقریبی است و تغییرات ظریف را نشان نمی‌دهد. همچنین نقشه‌های عمقی و نقشه‌های ضخامت ظاهری تهیه شده ممکن است از دقت کافی برخوردار نباشد. از این لحاظ نقشه ضخامت واقعی نمی‌تواند بیانگر تغییرات ظریف باشد.

۴ مطالعه موردی تهیه نقشه ضخامت واقعی لایه D1 سازند شوریجه

در منطقه سرخس (شمال شرقی استان خراسان) ساختمان‌های گنبدلی و خانگیران در گستره‌ای به ابعاد تقریبی ۵۵۰ کیلومتر مربع تحت پوشش برداشت لرزه‌نگاری سه‌بعدی قرار گرفتند. در این عملیات، فاصلهٔ خطوط گیرنده و چشمهٔ لرزه‌ای به ترتیب ۳۰۰ و ۴۰۰ متر بود و همچنین با احتساب ۵۰ متر برای فاصله دو ایستگاه گیرندهٔ متوالی و دو ایستگاه چشمه لرزه‌ای متوالی، ابعاد Bin ۲۵×۲۵ بود. در تفسیر این اطلاعات لرزه‌نگاری سه‌بعدی لایهٔ ماسه سنگی D1 به عنوان افق مخزنی سازند شوریجه از اهمیت خاصی برخوردار بود و بدین لحاظ رأس و قاعدهٔ این افق تفسیر شد (شکل ۲).



شکل ۲. تفسیر زمانی لایهٔ D1 (قرمز: کم عمق وآبی : عمیق)، الف) سطح بالایی لایه D1، ب) سطح پائینی لایه D1.

با استفاده از اطلاعات سرعتی حاصل از چاه‌ها و همچنین سرعت‌های برانبارشی حاصل از پردازش داده‌های لرزه‌نگاری، نقشه‌های زمانی رأس و قاعدهٔ افق D1 به نقشه‌های عمقی تبدیل شد و با استفاده از اختلاف این دو نقشه، نقشهٔ ضخامت ظاهری لایه D1 به‌دست آمد (شکل۴ الف) با استفاده از نقشه عمقی رأس و قاعدهٔ لایه D1، نقشهٔ عمقی سطح حدواسط در لایه D1 نیز به‌دست آمد و با نقشه مذکور، نقشهٔ شیب برای لایه D1 محاسبه شد (شکل ۳). در نهایت با داشتن نقشهٔ ضخامت ظاهری در راستای قائم و نقشهٔ شیب، ضخامت واقعی به‌دست آمد (شکل ۴ ب).

شکل ۳. نقشهٔ شیب به‌دست آمده برای لایه مخزنی D1.

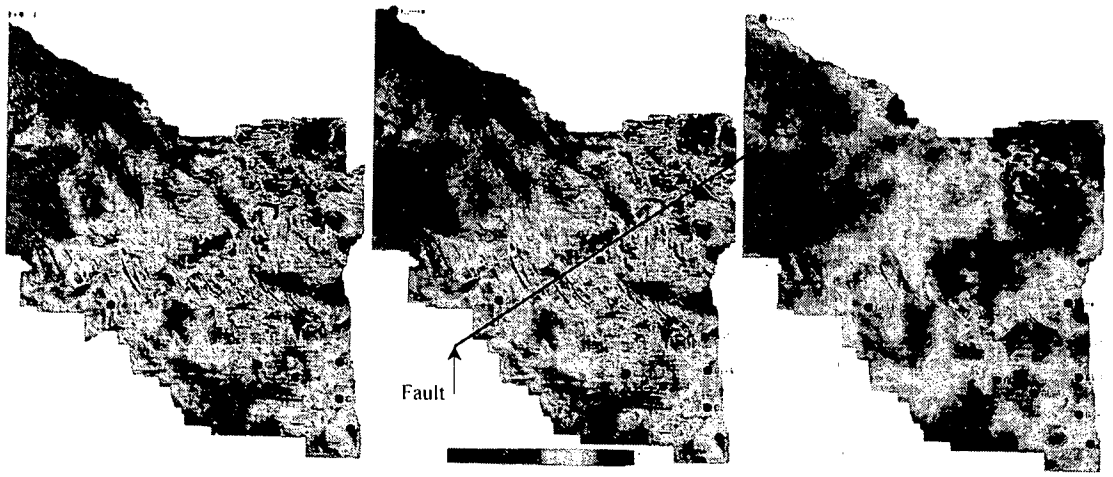
۵ تفسیر نقشهٔ ضخامت واقعی افق D1

همان‌طوری‌که در شکل ۴ ب دیده می‌شود، در برخی راستاها ضخامت واقعی کاهش یافته و این کاهش ضخامت به‌صورت خطواره‌هایی در روی نقشهٔ ضخامت واقعی نمود پیدا کرده است. با بررسی بیشتر این موقعیت‌ها مشخص شد که این خطواره‌ها به آثار گسل‌خوردگی مربوط‌اند.

در شکل ۴ ب به‌وضوح خطواره‌ای را با روند شمال‌شرق ـ جنوب غرب می‌توان تشخیص داد. تشخیص این خطواره در نقشهٔ ضخامت ظاهری به‌سادگی امکان‌پذیر نبود (شکل ۴ الف)، به نظر می‌رسد که این خطواره بر گسلی منطبق است که حرکت راست لغز دارد و گسل‌هایی با روند شمال غرب ـ جنوب شرق را جابه‌جا کرده است.

در شکل ۴ ب می‌توان مخروط طویل آبرفتی را در منطقه میانی تصویر با راستای شمالی ـ جنوبی مشاهده نمود. وجود این مخروط از طریق سایر نشانگرهای لرزه‌ای (عبدالهی‌فرد و همکاران، ۱۳۸۰) محرز شده است. در شکل ۴ الف، این مخروط آبرفتی را نمی‌توان دید در حالی‌که در شکل ۴ ب به‌وضوح می‌توان آن‌را مشاهده نمود. در محور میانی مخروط مذکور، ضخامت زیاد است و به طرف شمال با گسترده شدن مخروط آبرفتی، ضخامت واقعی لایه کاهش می‌یابد. علاوه بر این در جوانب تفسیر به‌تدریج ضخامت لایه کاهش یافته است. گسلی با روند شمال شرق ـ جنوب غرب بخش شمالی مخروط آبرفتی مذکور را قطع می‌کند و به نظر می‌رسد که قطعهٔ شمالی مخروط در راستای گسل به طرف شمال شرق جابه‌جا شده باشد.

در شکل ۴ ج مقدار جابجایی گسل اعمال شده است و قطعه جابجا شده مخروط را در مقابل قطعهٔ جنوبی آن می‌توان مشاهده کرد. علاوه بر این، گسل‌هایی با روند شمال غرب ـ جنوب شرق، بعد از برداشته شدن جابه‌جایی گسل در یک راستا قرار می‌گیرند. بدین ترتیب می‌توان مقدار جابجایی گسل و جهت آن را مشخص کرد.



شکل ٤. نقشهٔ ضخامت لایه مخزنی D1 (قرمز: ضخیم و آبی: نازک)، الف) ضخامت ظاهری، ب) ضخامت واقعی، ج) نقشهٔ ضخامت واقعی بعد از برداشتن جابجایی یک گسل خوردگی.

۶ نتیجه‌گیری

نشانگر شیب واقعی یکی از شاخص‌های لرزه‌ای برای تفسیر اطلاعات لرزه‌نگاری سه‌بعدی است که با به‌کارگیری آن می‌توان عوارض زمین‌شناختی همانند گسل‌ها و عدسی‌های چینه‌ای را تشخیص داد.

شاخص شیب واقعی در صورت استفاده از مدل سرعتی نادرست در تبدیل اطلاعات زمانی به عمق ممکن است نتایج نادرستی به‌دست دهد و از این رو لازم است در صورت استفاده، از مدل‌های سرعتی قابل اعتماد در کنار سایر نشانگرهای لرزه‌ای استفاده شود.

تشکر و قدردانی

لازم می‌دانم از مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران به‌ویژه آقایان خراسانی و نائینی که امکان این مطالعه رافراهم آوردند تشکر و سپاسگزاری نمایم.

منابع

عبدالهی‌فرد، ا.، ترابی، م. و حسن‌زاده‌آذر، ج.، ۱۳۸۰، گزارش تعبیر و تفسیر لرزه‌نگاری سه‌بعدی خانگیران- گنبدلی، شرکت ملی نفت ایران، مدیریت اکتشاف.

Brown, A., 1996, 3D seismic interpretation, AAPG.

Marshak, S., Mirta, G, 1988, Basin methods of structural geology, Printice Hall.

Ragan, D. M., 1985, Structural geology "an introduction to geometrical techniques", Third Edition, John Wiley & Sons, Inc.