

# انتخاب روش بهینه برای موازنه طولی و سطحی تفسیر لرزه‌نگاری سه بعدی دو تاق‌دیس نفتی در خاور خوزستان

نویسنده: حامد سعادت‌نیا\*، دکتر عبدالرحیم جواهریان\*\*، ایرج عبدالهی فرد\* و کاظم کاظمی\*

## Selecting the Optimum Method for Length and Area Balancing of 3D Seismic Interpretation of Two Oilfields at the Eastern Khuzestan

By: H. Sa'adatnia\*, Dr. A. Javaherian\*\*, I. Abdollahi Fard\* & K. Kazemi\*

### چکیده

راهی مناسب برای ارزیابی میزان اعتبار یک تفسیر ساختاری، به حالت اولیه بازگرداندن (restoration) ساختار برای یافتن شکل آن پیش از دگرشکلی (deformation) است. چرا که این ساختارها به عنوان کلیدی عمل می‌کنند که راهگشای تحلیل زمین ساخت منطقه‌ای هستند و معمولاً نقشی اساسی در صنعت اکتشاف ایفا می‌کنند. بویژه اکتشاف و تولید ذخایر هیدروکربوری نیاز به بهترین کنترل ممکن بر روی ساختارهای زیرسطحی به منظور حفر چاههای اکتشافی و یا چاههای تولیدی دارد. یک نقشه یا مقطع عرضی (cross section) صحیح را معمولاً می‌توان با روش‌هایی که بر مبنای بیش از یک مدل جنبشی (kinematic model) هستند، به حالت اولیه بازگرداند و روشهای مختلف تا حدی هندسه‌های متفاوتی ارائه می‌دهند. با این حال، بازگرداندن به هر شیوه‌ای انجام شود و با رعایت مفروضات و ملزومات آن شیوه، اعتبار و اطمینان آن شیوه تأمین شود، تفسیر حاصل را معتبر و قابل اطمینان می‌سازد. هدف از مطالعه حاضر، این است که افزون بر روشهای کیفی، با آزمایش روشهای مختلف به صورت کمی، روش بهینه‌ای برای انجام موازنه پیدا کرد. به همین منظور، سه روش طولی-خطی (Line-length)، برش ساده قائم (Vertical simple shear) و لغزش خمشی (Flexural slip) برای داده‌های لرزه‌نگاری سه بعدی دو تاق‌دیس نفتی در خاور خوزستان به صورت کمی با هم مقایسه و روش لغزش خمشی به عنوان روش بهینه برای انجام این کار در منطقه مورد نظر پیشنهاد شده است.

**کلید واژه‌ها:** موازنه، روشهای موازنه، به حالت اولیه بازگرداندن.

### Abstract

A powerful and independent test for the validity of a structural interpretation is the restoration of the structure to the shape it had before deformation. Such construction is a key in understanding of regional tectonics and plays a vital role in exploration industry. Exploration for oil and gas, in particular, requires the best possible control on underground structures to locate exploration and production wells. A map or cross section can usually be restored by methods based on more than one kinematic model, however, different methods will produce somewhat different restored geometries. It follows that any given restoration methods does not necessarily represent the exact pre-deformational geometry. The internal consistency of the restoration by any relevant technique validates the interpretation. The optimum method can be investigated through qualitative and quantitative testing techniques. The main aim is to select an optimum method for length and area balancing of the two oilfields in the east of Khuzestan. In this study, three line-length, vertical simple shear, and flexural slip methods are compared quantitatively with 3D seismic data of the two oilfields in the Eastern Khuzestan, and finally the flexural slip method is recommended as the optimum method.

**Key words:** Balancing, Balancing methods, Restoration.

### ۱- مقدمه

وسيله (Dahlstrom, 1969) و (Mitra & Namson, 1989) تغییر یافت و برای لایه‌های منفرد در یک مقطع عرضی سازگار شد. از آنجا که داده‌های لرزه‌ای همیشه کیفیت خوبی ندارند و ممکن است

بازگرداندن مقاطع عرضی و موازنه آن، ریشه در یک روش قدیمی برای محاسبه ژرفای جداشدگی و کوتاه شدگی دارد (Chamberlain, 1910; Bucher, 1933; Gougel, 1962) که به

روش‌های مختلفی از جمله روش‌های بازگرداندن جسم صلب (rigid-body restoration)، بازگرداندن طولی - خطی (line-length)، برش ساده مایل و قائم (oblique and vertical simple shear)، لغزش خمشی (flexural slip) و بازگرداندن سطحی (area restoration)، جهت بازگرداندن مقاطع لرزه‌نگاری وجود دارد که هر کدام در شرایط خاص، نتیجه درست‌تری ارائه می‌دهد. با توجه به ویژگی‌های زمین ساختی منطقه مورد مطالعه که در زاگرس قرار دارد و همچنین با توجه به مبانی نظری روشهای مذکور، روشهای بازگرداندن طولی - خطی، برش ساده قائم و لغزش خمشی برای نمونه در این منطقه انتخاب گردید. هدف، اعمال این سه روش و همچنین مقایسه نتایج آن با یکدیگر و انتخاب بهترین روش برای بازگرداندن مقاطع عرضی در این منطقه است.

همه این بازگرداندن‌ها بر مبنای موقعیت ابتدایی و انتهایی خطوط مرجع (reference lines) بنا نهاده شده است (Groshong, 1999). بر روی یک مقطع عرضی پارامترهایی مانند افق مرجع (reference horizon)، خط ثابت (pin line) و خط متحرک (loose line) تعریف می‌شود (Marshak & Woodward, 1988). افق مرجع، افقی است که در نظر است به حالت قبل از دگرشکلی بازگردانده شود. موقعیت بقیه افقها نسبت به افق مرجع تعیین می‌شود. موقعیت اولیه یک افق، شامل شکل و ارتفاع آن از سطح دریا، به صورت منطقه‌ای شناخته می‌شود (McClay, 1992). خط ثابت، یک خط عمودی صاف بر روی مقطع عرضی دگرشکل شده است که پس از بازگرداندن مقطع نیز باید به حالت صاف باقی بماند. یک خط ثابت، مرز مشخص و ثابتی درون مقطع عرضی و یا در یک طرف آن است و همیشه به گونه‌ای انتخاب می‌شود که موقعیت آن بر روی مقطع بازگردانده شده قابل تعیین باشد. برای مثال، آن را عمود بر سطوح لایه بندی انتخاب می‌کنند. خطوط ثابت، یا عمود بر لایه بندی انتخاب می‌شوند و یا در امتداد یک صفحه محوری در حالت دگرشکل شده به گونه‌ای قرار می‌گیرند که در مقطع بازگردانده شده، احتمالاً عمود بر لایه بندی باشند. خطوط متحرک، خطوطی صاف بر روی مقطع دگرشکل شده است که در اثر بازگرداندن مقطع، هرگونه پیکربندی و وضعیتی برای آن قابل تصور خواهد بود. به بیان واضح‌تر، چنان به نظر می‌رسد که خطوط ثابت، صلب و جامد، و خطوط متحرک، انعطاف پذیر و قابل تغییر شکل هستند. از آنجا که این خطوط در طبیعت مشخص نشده‌اند، انتخاب آنها اختیاری است و ممکن است بهترین انتخاب در برخی اوقات، به مدل جنبشی بستگی داشته باشد.

اعتبار یک مقطع عرضی، بر مبنای کیفیت بازگرداندن آن قضاوت می‌شود. خط متحرکی که مستقیم و موازی خط ثابت باشد، بهترین شاخص رضایت از انجام درست بازگرداندن مقطع عرضی است. گسل‌های موجود بر روی مقطع عرضی دگرشکل شده نیز، در موقعیت جدید بازگردانده شده و در مقطع عرضی بازگردانده شده نشان داده می‌شوند.

بخشهایی از آن دارای ابهام و نقص نیز باشند، باید به نحوی تفسیر نهایی را معتبر و قابل قبول کرد. یک آزمایش مستقل و قوی برای درک میزان اعتبار یک تفسیر ساختاری، به حالت اولیه بازگرداندن ساختار برای فهمیدن شکل آن پیش از دگرشکلی است. به دلیل اهمیت مقاطع عرضی دقیق و ساختارهای گذشته در اکتشاف هیدروکربن، این مسئله مورد توجه زیادی بوده است. بسیاری از مسائلی که در بازگرداندن مقاطع عرضی پیش می‌آید، ناشی از محدودیتهای هندسی است که این فرایند بر تفسیرهای زمین شناسی اعمال می‌کند. یک روش بازگرداندن هندسی یا مدل پیشرونده، ممکن است به طور کلی قابل قبول، اما از نظر فیزیکی ناممکن باشد (Elliott, 1983). یک مقطع قابل بازگشت به حالت اولیه هندسی، به طور کامل یا تقریباً کامل با اجزای آن قبل از دگرشکلی همخوانی دارد. یک مقطع عرضی صحیح را معمولاً می‌توان با روشهایی که مبنی بر بیش از یک مدل جنبشی هستند، به حالت اولیه بازگرداند. اگرچه بازگرداندن به هر شیوه‌ای انجام شود و با رعایت مفروضات و ملزومات آن شیوه اعتبار و اطمینان آن شیوه تأمین شود، تفسیر حاصل را معتبر و قابل اطمینان می‌سازد، اما افزون بر روشهای کیفی، می‌توان با آزمایش روشهای مختلف به صورت کمی، روش بهینه‌ای برای موازنه پیدا کرد.

## ۲- بررسی چند روش بازگرداندن مقاطع لرزه‌نگاری

در عمل، روشهای بازگرداندن شکل یک ساختار زمین‌شناسی به حالت اولیه بر اساس مدلی برای تکامل هندسی پایه ریزی شده است که مدل جنبشی نام دارد. یک مقطع عرضی صحیح را معمولاً می‌توان با روشهایی که مبنی بر بیش از یک مدل جنبشی هستند، به حالت اولیه بازگرداند و روشهای مختلف تا حدی هندسه‌های متفاوتی ارائه می‌دهند. بدین معنی که هر بازگرداندنی لزوماً هندسه پیش از دگرشکلی را به طور دقیق ارائه نمی‌دهد. اگرچه بازگرداندن به هر شیوه‌ای انجام شود و با رعایت مفروضات و ملزومات آن شیوه اعتبار و اطمینان آن شیوه تأمین شود، تفسیر حاصل را معتبر و قابل اطمینان می‌سازد، اما افزون بر روشهای کیفی، می‌توان با آزمایش روشهای مختلف به صورت کمی، روش بهینه‌ای برای انجام موازنه پیدا کرد. اگر بازگرداندن امکان پذیر باشد، نشان می‌دهد که تفسیر ساختاری انجام شده ماهیتاً نامتناقض است، حتی اگر روش بازگرداندن مدل کاملی برای فرایند دگرشکلی نباشد. تفسیری که بر مبنای داده‌های زیادی از جمله داده‌های سطحی، چاههای فراوان و یا مقاطع عمقی لرزه‌ای کنترل شده به وسیله اطلاعات چاهها پایه ریزی شده است، همواره قابل بازگرداندن هستند و در مقابل، تفسیرهای مبتنی بر داده‌های ناقص و کم به ندرت قابل بازگرداندن هستند. این مسئله، اولین معیاری است که بازگرداندن مقاطع را به حالت اولیه، به عنوان یک روش معتبر تأیید می‌کند.

هر وسیله طول‌سنج که قابلیت انعطاف داشته باشد، انجام شود که البته خطای ناشی از عمل، قابل توجه خواهد بود (Groshong, 1999). امروزه با پیشرفت فناوری رایانه‌ای و با استفاده از داده‌های رقمی، این کار به آسانی قابل انجام است. برای مثال، پس از تفسیر، می‌توان از اطلاعات تفسیر که به صورت نقاطی با مختصات مشخص و معلوم هستند، خروجی گرفت. با توجه به اینکه هر نقطه روی بازتابنده دارای مختصات مشخص و معلومی می‌باشد، فاصله هر دوتقطه با استفاده از روابط هندسه تحلیلی به دست می‌آید:

$$Z = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

طول لایه مورد نظر  $Z_i = \sum_{i=1}^n$

سپس همه فواصل نقاط روی یک بازتابنده با هم جمع می‌شود و طول آن لایه به دست می‌آید. در اینجا باید توجه داشت که اطلاعات نادرست باید حذف شود. برای مثال، فاصله دو نقطه که در دو طرف یک گسل قرار دارند نباید در محاسبه طول لایه لحاظ شود. زیرا باعث افزایش کاذب طول لایه‌ها می‌گردد. پس از محاسبه طول لایه‌ها و به حالت اولیه بازگرداندن مقطع نمونه، لایه‌ها به حالت افقی بازگردانده می‌شوند تا درستی تفسیر انجام شده کنترل شود.

## ۲-۲ بازگرداندن به روش لغزش خمشی

بازگرداندن به روش لغزش خمشی، بر اساسی مدلی است که در آن طول لایه‌ها در طی دگرشکلی تغییری نمی‌کند (Chamberlain, 1910; Woodward et al., 1985; Dahlstrom 1969). در این روش فرض می‌شود که دگرشکلی درونی به وسیله برش موازی لایه رخ داده است. برای ثابت ماندن سطح، ستبرای لایه‌ها باید در طی دگرشکلی به خوبی ثابت بماند. از این رو به آن، مدل طول و ستبرای ثابت لایه (Constant Bed Length and Bed Thickness Model) گفته می‌شود. برای تهیه مقطع بازگردانده شده، بازگرداندن شامل اندازه‌گیری طول لایه‌ها و صاف کردن طولها (در حالی که ستبرای ثابت بماند) می‌باشد. اگر طول همه لایه‌ها یکسان باشد، مقطع عرضی باید صحیح و قابل بازگشت باشد. بازگرداندن به این روش، برای مواقعی مناسب است که لایه‌ها چین خوردند و تغییرات ستبرای ساختاری کوچک است؛ یعنی برای شرایط دگرشکلی که در بسیاری از ساختارهای فشارشی وجود دارد. طول خطوطی که نسبت به لایه بندی مایل هستند و زاویه بین لایه بندی و گسل در اثر دگرشکلی تغییر می‌کند و در نتیجه در حالت دگرشکل شده در مقایسه با مقطع عرضی بازگردانده شده متفاوت است. این روش می‌تواند به گونه‌ای تغییر یابد که تغییرات ستبرای چینه‌شناختی اولیه لایه‌ها حفظ شود (Brewer & Groshong, 1993). برای بازگرداندن یک ساختار، خطوط ثابت و متحرک انتخاب

معمول بودن شکل بازگردانده شده گسلها نیز معیار دیگری برای دریافتن میزان کیفیت مقطع بازگردانده شده است. یک خط ثابت بی‌قاعده و نامنظم، آشکارترین مشخصه مقطع بازگردانده شده‌ای است که دارای اعتبار و درستی کافی نیست. برای بازگرداندن، لازم است معلوم شود که آیا یک چین و یا گسل، در فرایند بازگرداندن تأثیری غیرفعال دارد یا به عنوان یک ساختار فعال آن را کنترل می‌کند. اگر بلوک فرادیواره گسلهای فعال به صورت جداگانه از بلوک فرادیواره بازگردانده نشود، ارتباط گسل - چین به شدت تحت تأثیر قرار می‌گیرد. اگر امکان تشخیص توألیها از روی لایه‌های مجاور رشدی وجود نداشته باشد، چنانچه این حالت می‌تواند برای گسلهای موجود در یک توألی پیش از رشد وجود داشته باشد، هر دو امکان باید مورد توجه قرار گیرد و شاید روشهای جدیدی برای بازگرداندن انتخاب شود. ساختارهای رشدی می‌توانند به ترتیب موقعیت رسوبگذاری اولیه هر واحد بازگردانده شوند.

در اینجا بازگرداندن هندسی به عنوان عملی شناخته می‌شود که مشخصاً به جابه‌جایی و یا جهت انتقالی که ساختار را شکل می‌دهد، ارتباطی ندارد. تنها محدودیت موجود در انتخاب جهت بازگرداندن مقطع، این است که جهت انتقال باید در مجاورت مقطع عرضی تقریباً ثابت باشد. بازگرداندن مقاطع عرضی که از گسلهای با جا به جایی مایل عبور می‌کند، احتمالاً باعث به وجود آمدن یک ناپیوستگی چینه‌ای یا ساختاری در گسل خواهد شد. این ناپیوستگی شاید به وسیله تغییر مکان جانبی مقطع عرضی بر روی گسل برطرف شود. یک مقطع عرضی یا نقشه موازنه شده، مقطع یا نقشه‌ای است که مساحت آن در مقایسه با هندسه دگرشکل نشده ثابت بماند و دارای یک خط متحرک قابل قبول باشد. معیار اصلی که نخستین بار توسط Chamberlain (1910) مطرح شد این بود که مقطع دگرشکل شده و مقطع بازگردانده شده، باید دارای مساحت مساوی باشند و اگر با دقت بر روی کاغذ شطرنجی رسم شوند، کاملاً با هم برابر و یکسان باشند. این مفهوم توسط Dahlstrom (1969) که مشاهده کرد حجم باید در طول دگرشکلی ثابت بماند، به صورت عمومی درآمد. در بسیاری از ساختارها، در طول محور ساختار، دگرشکلی وجود ندارد و یا بسیار کم است و در عمل، بعد سوم را می‌توان نادیده گرفت و ثابت بودن حجم می‌تواند برای یک مقطع عرضی به صورت «قانون ثابت بودن سطح» به کار برده شود.

## ۲-۱ بازگرداندن به روش طولی - خطی

در بازگرداندن به این روش لازم است طول لایه‌های تفسیر شده اندازه‌گیری و سپس لایه‌ها بسته به اندازه طولشان به حالت افقی بازگردانده شود. در این کار، بسته به نوع داده‌ها می‌توان از روشهای دستی یا رایانه‌ای استفاده کرد. اندازه‌گیری ممکن است به صورت دستی با قراردادن یک نخ در امتداد مرز یک لایه و سپس بازکردن و اندازه‌گیری طول آن و یا

بازگردانده شده و در هر دو روش برش ساده مایل و برش ساده قائم، ثابت می‌ماند. بهترین زاویه برش برای بازگرداندن معمولاً به روش آزمون و خطا انتخاب می‌شود (Rowan & Kligfield, 1989).

### ۳- انتخاب روش مناسب برای موازنه داده‌های لرزه‌نگاری سه بعدی دو ناقدیس نفتی واقع در خاور خوزستان

این تاکدیسها تاکدیسهایی تقریباً نامتقارن و متوازی هستند و جهت عمده آنها شمال‌باختری- جنوب‌خاوری است (شکل ۱). برای انتخاب روش مناسب به حالت اولیه بازگرداندن مقاطع عرضی یک مقطع نمونه انتخاب گردید. در اینجا روشهای بازگرداندن طولی، برش قائم و لغزش خمشی مقایسه گردیده، بهترین روش برای بازگرداندن مقاطع عرضی در این منطقه انتخاب می‌گردد. شکل ۲ یک مقطع لرزه‌نگاری کوچ داده شده عمقی (depth migrated) با مقیاس طولی و قائم یکسان را نشان می‌دهد. در این مقطع نمونه، حضور دو گسل نرمال در ستیغ تاکدیس آشکار است. این ساختارهای کششی معمولاً در ستیغ تاکدیسها و به دلیل وجود تنشهای کششی در این ناحیه دیده می‌شوند. پیش از به حالت اولیه بازگرداندن مقطع، لازم است بلوکهای گسلی به حالت پیش از جا به جایی بازگردانده شوند (شکل ۳). شکل ۴، طول و مساحت لایه‌های مورد نظر را نشان می‌دهد که ملاک کنترل روشهای به کار برده شده می‌باشد.

شکل ۵ تفسیر دو افق را پس از بازگرداندن به روش طولی خطی نشان می‌دهد. همان گونه که دیده می‌شود، در این روش طول لایه‌ها در هر دو حالت دگرشکل یافته و بازگردانده شده یکسان است، اما مساحت لایه، اختلاف نسبتاً زیادی با مساحت اولیه نشان می‌دهد. بنابراین، روش بازگرداندن طولی، روش مناسبی برای بازگرداندن مقاطع در این منطقه نیست. شکل ۶ تفسیر دو افق را پس از بازگرداندن به روش برش قائم نشان می‌دهد. همان گونه که مشاهده می‌شود، در این روش مساحت لایه‌ها در هر دو حالت دگرشکل یافته و بازگردانده شده تقریباً یکسان است، اما طول لایه‌ها اختلاف نسبتاً زیادی را با طول اولیه نشان می‌دهد. بنابراین، روش قائم نیز روش مناسبی برای بازگرداندن مقاطع در این منطقه نیست. روش دیگری که آزمایش می‌شود، روش لغزش خمشی است. شکل ۷ تفسیر دو افق را پس از بازگرداندن به این روش نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود در این روش هم طول لایه‌ها و هم مساحت در هر دو حالت دگرشکل یافته و بازگردانده شده یکسان است. در جدول ۱ مشاهده می‌شود که با توجه به اینکه روش لغزش خمشی کمترین اختلاف را از نظر طولی و سطحی نشان می‌دهد، این روش برای موازنه مورد استفاده قرار می‌گیرد. از سوی دیگر، بازگرداندن به این روش، برای مواقعی مناسب است که لایه‌ها چین خوردانند و تغییرات ستبرای ساختمانی کوچک است؛ یعنی شرایط دگرشکلی که در بسیاری از ساختارهای فشارشی وجود دارد. براساس آنچه از زمین ساخت زاگرس معلوم است، این شرایط در زون

می‌شوند و طول لایه بین آنها اندازه‌گیری می‌شود. اندازه‌گیری ممکن است به صورت دستی و با قراردادن یک نخ در امتداد مرز یک لایه و سپس باز کردن و اندازه گرفتن طول آن انجام شود. همچنین یک خط کش و یا یک تکه کاغذ صاف می‌تواند در امتداد هر قطعه قرار گیرد و ابتدا و انتهای آن قطعه روی آن علامت زده شود و در نهایت، طول این قطعه‌ها اندازه‌گیری شود. همچنین طول لایه‌ها اندازه‌گیری می‌شوند و براساس آن، لایه‌ها روی مقطع بازگردانده شده رسم می‌شوند. ستبراهای در مقطع عرضی دگرشکل شده و بازگردانده شده با هم یکسان است. گسلها نیز روی مقطع بازگردانده شده و در موقعیتی که بازگرداندن لایه‌ها آن را تعیین می‌کند، مشخص می‌شوند. در این روش نیز مسئله‌ای که در اندازه‌گیری طول لایه‌ها باید به آن دقت کرد، توجه به طول گسلها و عدم دخالت آنها در اندازه‌گیری طول لایه‌هاست.

### ۳-۲ بازگرداندن به روش برش ساده

براساس مفهوم برش ساده صفحه‌ای، می‌توان چنان فرض کرد که یک مقطع عرضی از تعداد نامحدودی قطعه صفحه‌ای تشکیل شده که می‌توانند آزادانه روی هم بلغزند (Groshong, 1999). جهت برش با یک زاویه  $\alpha$  نسبت به منطقه دگرشکلی مشخص می‌شود که این زاویه در طول دگرشکلی تغییری نمی‌کند. حالت خاصی که صفحه برش نسبت به منطقه دگرشکلی زاویه ۹۰ درجه می‌سازد، برش ساده قائم نام دارد. زیرا معمولاً منطقه دگرشکلی افقی است. برش ساده مایل نوعی برش ساده است که در آن زاویه بین جهت برش و منطقه دگرشکلی چیزی غیر از ۹۰ درجه است. بعضی از محققان این زاویه را نسبت به سطح قائم در نظر می‌گیرند. روش بازگرداندن برش ساده در بازگرداندن ساختارهای کششی و به ویژه ساختارهای کششی نیمه گراين کاربرد گسترده‌ای دارند.

بازگرداندن به روش برش ساده قائم شامل یک مقدار جا به جایی قائم بسیار جزئی در قطعات صفحه‌ای قائم در هنگام بازگرداندن یک سطح مرجع به سطح اساس افقی می‌باشد (Verrall, 1982). پایه و اساس این روش بر مبنای فن همبستگی چاهها استوار شده است که در آن چاهها بر اساس موقعیت آنها، در کنار هم قرار می‌گیرند و به سادگی با لایه‌های شناسای مشخص شده، با هم همبستگی داده می‌شوند. همترازی، همبستگی بین لایه‌های شناسای مجاور را خیلی راحت تر می‌کند. بسیاری از برنامه‌های رایانه‌ای که برای تفسیر زمین شناسی یا زمین فیزیکی طراحی شده‌اند، به نوعی این روش را به کار می‌برند.

بازگرداندن برش ساده مایل، به مانند برش ساده قائم است. با این تفاوت که خطهای اندازه‌گیری، دیگر عمود بر خط اساس مرجع نیستند و زاویه‌ای غیر از ۹۰ درجه دارند. طولهای مایل که بر روی مقطع دگرشکل شده اندازه‌گیری می‌شوند، با انتقال در جهت برش، به حالت اولیه بازگردانده می‌شوند. در این حال، فاصله بین هر دو خط اندازه‌گیری در جهت خط ناحیه‌ای (S) و زاویه برش ( $\alpha$ )، از حالت دگرشکل به حالت

شرایط زمین‌شناسی آن منطقه انجام پذیرد. در هر شرایط خاص زمین‌شناسی، لازم است روش بهینه موازنه نمودن مربوط به آن شرایط به کار برده شود. به همین دلیل ابتدا روشهای مختلف در یک منطقه مورد آزمایش قرار گرفته، در نهایت روش بهینه انتخاب می‌گردد. با موازنه تفسیر ساختمانی مقاطع لرزه‌نگاری، سطح کیفی آنها برای تعیین محل حفاری چاهها، محاسبه حجم ذخایر هیدروکربوری و همچنین درک درست از زمین ساخت ناحیه‌ای مشخص می‌شود. این مسئله از نظر علمی و بویژه از نظر اقتصادی بسیار حائز اهمیت و حیاتی است. زیرا هزینه حفاری بسیار بالاست و اشتباه در محل حفاری، ضررهای اقتصادی فراوانی را باعث می‌شود. علاوه بر این، خطای زیاد در برآورد ذخیره هیدروکربور یک ساختمان بر اساس مدل ساختاری نادرست، به مراتب زیان اقتصادی بیشتری از دیدگاه صرف هزینه تولیدی بعدی خواهد داشت. در نهایت، پیشنهاد می‌شود که در هر مرحله، با افزایش اطلاعات، اعم از اطلاعات چاهها به عنوان نقاط کنترلی و یا داده‌های لرزه‌نگاری، مدل زمین‌شناسی ساختاری منطقه بازبینی و در صورت لزوم اصلاح شود.

#### سیاسگزاری

این مطالعه در قالب طرح پژوهشی مصوب شماره ۶۵۲/۱/۱۰۴۲ دانشگاه تهران انجام شده است. لذا از مؤسسه ژئوفیزیک و حوزه معاونت پژوهشی دانشگاه تهران بدین لحاظ قدردانی می‌گردد. همچنین از اداره کل ژئوفیزیک مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت ایران و بویژه آقای مجتبی محمدو خراسانی و مصطفی نائینی که امکان استفاده از امکانات نرم افزاری و سخت افزاری آن اداره را فراهم نمودند، کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید.

ساختاری زاگرس وجود دارد و استفاده از این روش برای منطقه مورد نظر مناسب خواهد بود. یکی از شرایط مطرح در این روش این است که آیا تغییرات ستبرا ناشی از عوامل دگرشکلی در این منطقه وجود دارد و اگر وجود دارد، تا چه میزان است. با توجه به اطلاعات چاههای منطقه و بویژه چاههایی که در محل مقطع انتخاب شده برای موازنه قرار دارند و همچنین مطالعه گزارشهای زمین‌شناسی موجود، معلوم می‌شود که در این منطقه از جنوب باختر به سمت شمال خاور، تغییرات ستبرا وجود دارد. این تغییرات ستبرا عمدتاً ناشی از عوامل دگرشکلی زمین ساختی نیست و به شرایط رسوبگذاری و عوامل اولیه زمین ساختی مربوط می‌شود. لذا زمانی که مقدار آن ناچیز باشد، می‌توان از آن صرف‌نظر نمود. محاسبات نشان می‌دهد که میزان تغییرات ستبرا در بیشترین حالت حدود ۱۵٪ و مربوط به سازند شیلی پابده است که ماهیت شکل پذیر دارد. لذا بخشی از این تغییرات ستبرا ناشی از عوامل دگرشکلی زمین ساختی و بخشی مربوط به شرایط رسوبگذاری است. همچنین باید توجه داشت خطاهای ناشی از پردازش و تفسیر این لایه‌ها نیز می‌تواند نقش مؤثری در این تغییرات ستبرا داشته باشد. با توجه به مجموع این نکات، می‌توان با خطای ناچیزی این تغییرات ستبرا را نادیده گرفت (جدول ۲).

#### بحث و نتیجه‌گیری

از آنجا که داده‌های لرزه‌ای همیشه دارای کیفیت مناسبی نیست و ممکن است بخشهایی از آن دارای نقص و ابهام نیز باشد، باید به گونه‌ای تفسیر نهایی را معتبر و قابل قبول کرد. آنچه مسلم است این است که ساختار زمین‌شناسی در شرایط خاص زمین‌شناختی مربوط به خود به وجود می‌آیند. در نتیجه لازم است تفسیر ساختمانی مقاطع لرزه‌نگاری با توجه به

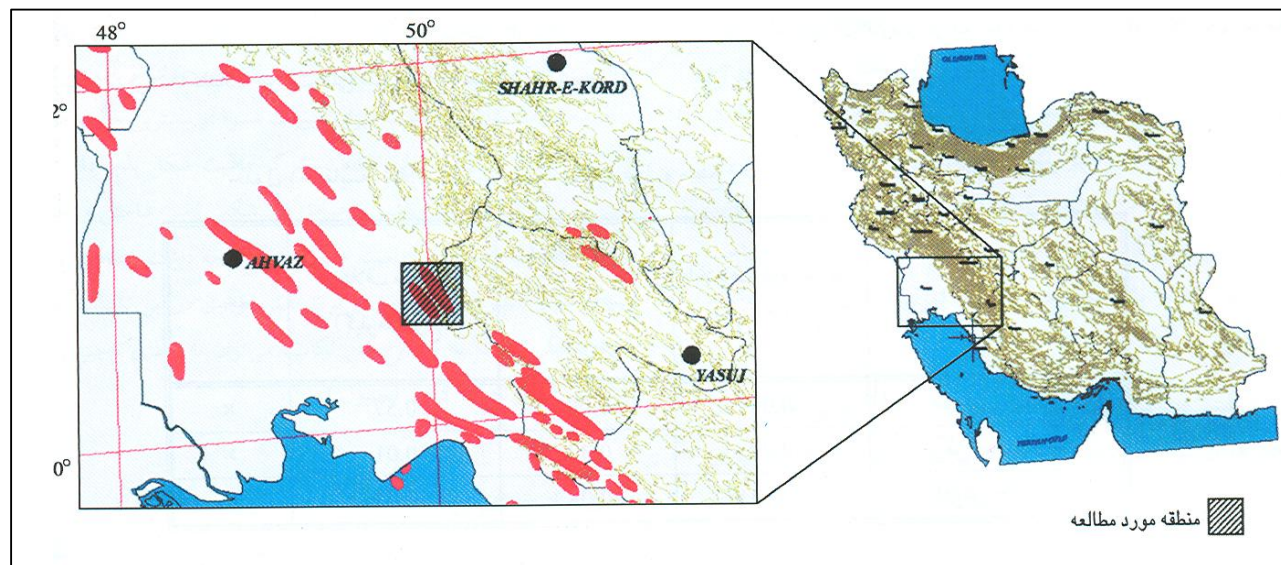
جدول ۱- مقایسه اختلاف طول و سطح نسبت به طول و سطح اولیه در در روشهای مختلف بازگرداندن.

نام روش	اختلاف طول سازند بالایی (کیلومتر)	اختلاف طول سازند پایینی (کیلومتر)	اختلاف مساحت (کیلومتر مربع)	نتیجه
طولی - خطی	0.00	0.00	0.57	×
برش ساده قائم	0.99	0.32	0.01	×
لغزش خمشی	0.00	0.08	0.02	✓

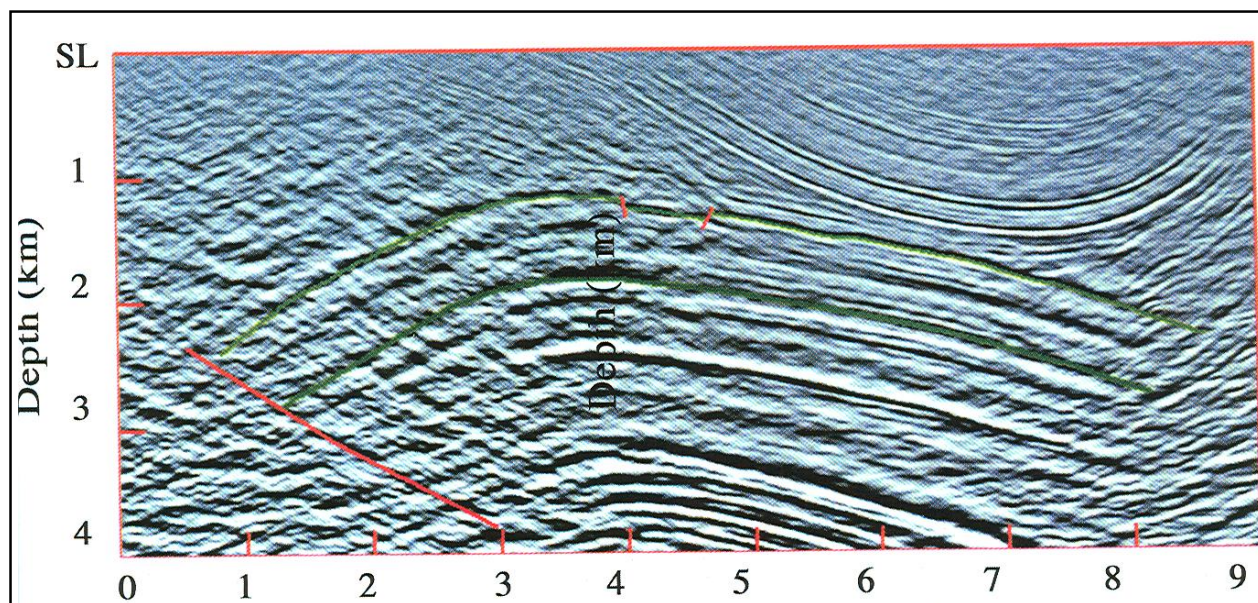
جدول ۲- ستبرای لایه‌ها که در چند نقطه تصادفی در هر لایه اندازه‌گیری شده است.

میزان بیشترین تغییرات ستبرای نسبت به ستبرای اولیه، در هر لایه محاسبه شده و به صورت درصد در ردیف آخر جدول آمده است.

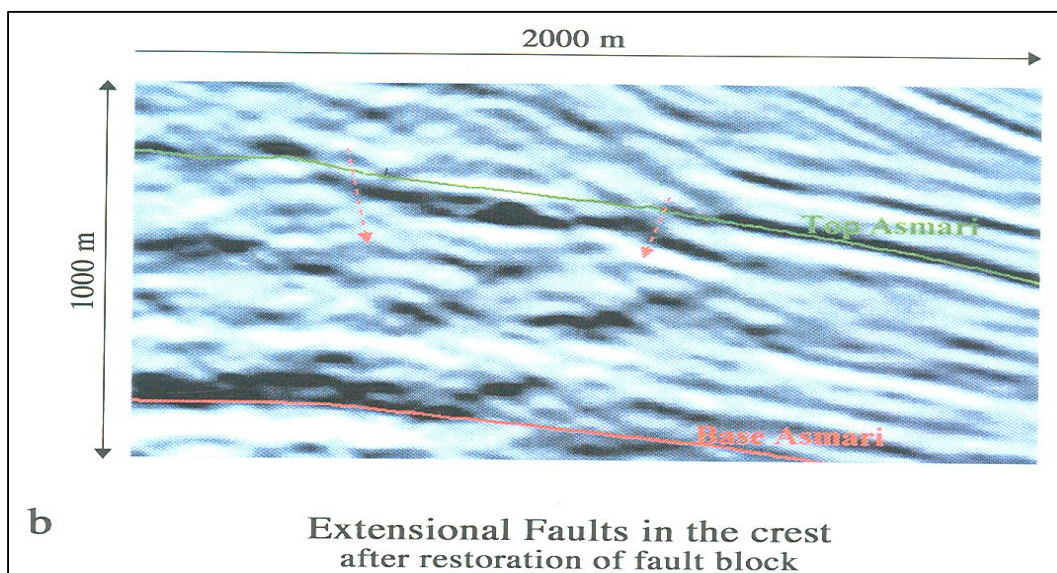
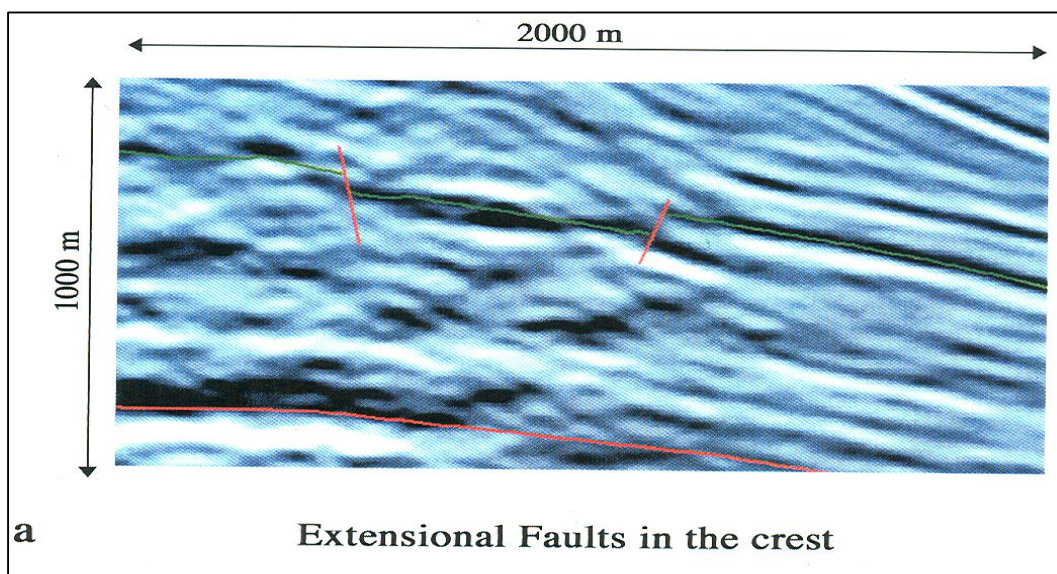
Thickness (m)			
Asmari	Pabdeh	Ilam	Sarvak
403	469.1	619.8	282.8
403	473.6	619.9	282.9
403	473.3	620.0	283.1
403	476.4	620.2	283.3
403	474.0	620.3	283.5
403	496.5	620.3	283.6
403	491.6	620.4	283.7
403	506.9	620.6	284.0
403	507.3	618.8	286.0
403	508.5	617.0	288.0
403	513.8	615.2	290.0
403	519.6	613.4	292.0
403	521.2	611.6	294.1
403	518.5	613.9	296.1
403	518.1	616.3	303.8
403	543.1	598.6	306.4
403	540.8	600.9	309.1
403	540.3	603.2	311.8
403	539.3	607.9	317.1
403	546.9	608.2	319.8
403	549.6	608.5	322.5
0 %	14.6 %	3.5 %	12.3 %



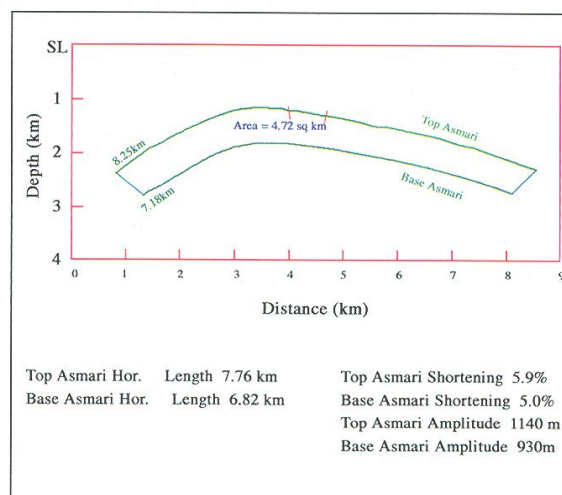
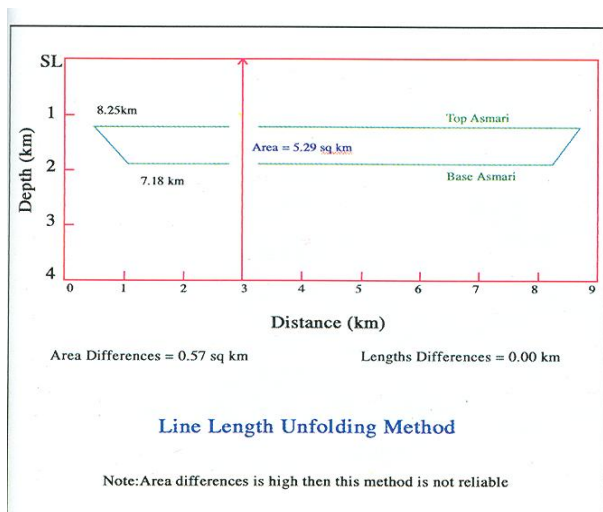
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه.



شکل ۲- یک مقطع لرزه‌نگاری مهاجرت داده عمقی تفسیر شده در منطقه کرنج و پارسی که برای انتخاب روش مناسب برای بازگرداندن، مورد استفاده قرار گرفته است.

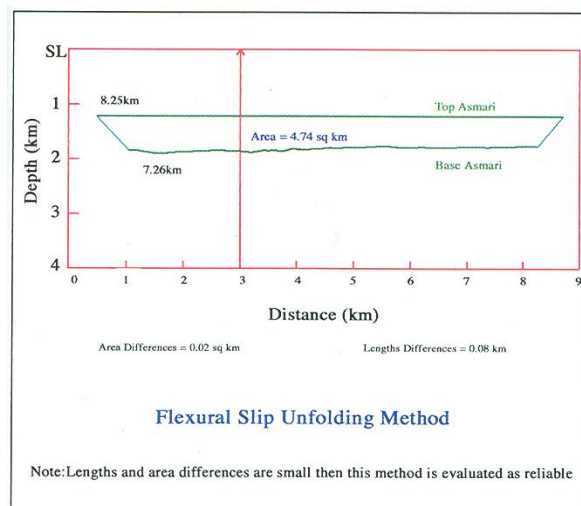
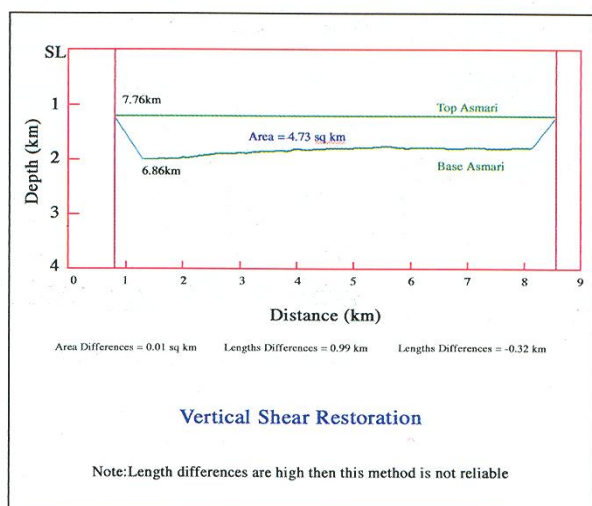


شکل ۳- حضور دو گسل نرمال در ستیغ تاقدیس موجود در مقطع عرضی شکل ۲ که به دلیل وجود تنشهای کششی رخ داده است. (a) قبل از بازگرداندن به حالت اولیه. (b) بعد از بازگرداندن به حالت اولیه.



شکل ۵- مقایسه اختلاف طول و سطح نسبت به طول و سطح اولیه در روش بازگرداندن طولی - خطی.

شکل ۴- طول و مساحت اولیه لایه مورد نظر در مقطع عرضی شکل ۲ که به عنوان ملاکی برای مقایسه و کنترل روشهای به کار برده شده مورد استفاده قرار گرفته است.



شکل ۷- مقایسه اختلاف طول و سطح نسبت به طول و سطح اولیه در روش بازگرداندن لغزش خمشی.

شکل ۶- مقایسه اختلاف طول و سطح نسبت به طول و سطح اولیه در روش بازگرداندن برش قائم.

**کتابنگاری**

ستوده نیا، م.، ۱۳۶۲- گزارش تکمیلی میدان نفتی کرنج (مخزن آسماری)، کتابخانه مرکزی هشتم شرکت ملی نفت ایران، مدرک شماره 241ND.  
سعادت‌نیا، ح.، ۱۳۸۳- بالانس طولی و سطحی تفسیر لرزه‌نگاری سه بعدی منطقه کرنج و پارسی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.

**References**

- Brewer, R. C. & Groshong R. H. , 1993- Restoration of cross section above intrusive salt domes: Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 77, 1769-1780.
- Bucher, W. H., 1933- *The deformation of the Earth's crust*, Princeton University Press, Princeton, New Jersey.
- Chamberlain, R. T., 1910- The Appalachian folds of Central Penvsylvanian: J. Geol., 18, 228-251.
- Dahlstrom, C. D. A., 1969- Balanced cross-sections: Canadian J. Earth Sci., 6, 743-757.
- Elliott, D., 1983- The construction of balanced cross-sections: J. Struct. Geol., 5, 101.
- Gougel, J., 1962- *Tectonics*, W. H. Freeman, San Francisco
- Groshong, R., 1990- Unique determination of normal fault shape from hanging-wall bed geometry in detached half grabens: *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 83, 455-471.
- Groshong, R. H., 1999- *3-D structural geology: A practical guide to surface and subsurface map interpretation*, Chapter 8, Springer-Verlag, Heidelberg, 324 p.
- Marshak, S. & Woodward, N., 1988- *Introduction to cross section balancing*. In: *Basic methods of structural geology*, eds. Marshak, S. & Mitra, G., Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 303-332.
- Mc Clay, K. R., ed., 1992- *Thrust tectonics*, Chapman and Hall, London, 447 pp.
- Mitra, S. & Namson, J., 1989- Equal-area balancing: Am. J. Sci., 289, 563-599.
- Rowan, M. G. & R. Kligfield, 1989- Cross section restoration and balancing as an aid to seismic interpretation in extensional terrains: Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 73, 955-966.
- Verral, P., 1982- Structural interpretation with applications to North Sea problems. Course Notes, Joint Association of Petroleum Exploration Courses (JAPEC), London.
- Woodward, N. B., Boyer, S. E. & Suppe, J., 1985- An outline of balanced cross-sections: Studies in Geology 11, Department of Geological Sciences, University of Tennessee, Knoxville, 170 pp.

\* مدیریت اکتشاف، شرکت ملی نفت ایران، تهران، ایران

\*\* مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

\* Exploration Directorate, National Iranian Oil Company, Tehran, Iran

\*\*Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran