

# کاربرد نشانگرهای لرزه‌ای همدوسی در توصیف گسل‌ها و شکستگی‌های مخزن

تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۸/۱۵ ؛ تاریخ پذیرش مقاله: ۹۰/۹/۲۳

- علیرضا وارسته\*، حمیدرضا سیاه‌کوهی<sup>۲</sup>، احسان خامه‌چی<sup>۳</sup> و سیاوش نوروزی<sup>۴</sup>
- ۱- دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه مهندسی نفت
  - ۲- دانشگاه تهران، مؤسسه ژئوفیزیک
  - ۳- دانشگاه صنعتی امیرکبیر، دانشکده مهندسی نفت
  - ۴- شرکت مهندسی و توسعه نفت (متن)

varasteh\_alireza@yahoo.com

پژوهش نفت

سال بیست و دوم  
شماره ۶۹  
صفحه ۷۲-۶۴، ۱۳۹۱

و دقت نمایش ناپیوستگی‌ها فراهم می‌نماید. در این راستا استفاده از اطلاعات شیب و آزیموت لایه‌ها، نقش مهمی در افزایش دقت تفسیر ناپیوستگی‌ها به خصوص شکستگی‌ها دارد. در نهایت، ارزیابی نشانگرهای همدوسی در مقطع زمانی تحت مطالعه در مخزن فهلیان نشان می‌دهد که امتداد اصلی گسل‌ها و شکستگی‌های مخزن در راستای شمال غربی- جنوب شرقی است که این امتداد با امتداد تعیین شده از نمودار FMI در چاه حفاری شده در این میدان مطابقت دارد.

واژه‌های کلیدی: نشانگرهای لرزه‌ای، همدوسی لرزه‌ای، الگوریتم شباهت، الگوریتم همبستگی متقابل، گسل‌ها و شکستگی‌ها

## مقدمه

در امر توسعه و مدیریت تولید مخازن نفت، اطلاع و آگاهی از جزئیات و ناهمگنی‌های مخزن از حساسیت و اهمیت بالایی در توصیف مخزن برخوردار است. یکی از پارامترهای مخزن که مطالعه و توصیف آن نقش مهمی در کنترل بهتر چاه‌ها و مدیریت مخازن ایفا می‌کند، ناپیوستگی‌ها می‌باشد. با مطالعه ناپیوستگی‌های مخزن

## چکیده

شناسایی و مطالعه هر چه بیشتر گسل‌ها و شکستگی‌ها در مخازن هیدروکربوری، اهمیت ویژه‌ای در مراحل ازدیاد برداشت و توسعه میادین نفتی دارد. یکی از روش‌های توصیف ناپیوستگی در لایه‌ها، استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای همدوسی می‌باشد. نشانگرهای همدوسی با بررسی جانبی ردلرزه‌ها، میزان پیوستگی آنها را که نشانه مستقیمی از پیوستگی لایه‌های بازتابنده است، نشان می‌دهند. به گونه‌ای که ردلرزه‌ها در مناطقی از زمین که بر اثر گسل‌ها یا شکستگی‌ها پیوستگی خود را از دست داده‌اند، دارای شباهت کمتری با ردلرزه‌های مجاور خود بوده و منجر به همدوسی کم برای این مناطق می‌شود. در این مطالعه، نشانگرهای همدوسی با استفاده از دو الگوریتم همبستگی متقابل و شباهت از داده‌های لرزه‌ای سه بعدی یکی از میادین نفتی ایران واقع در خلیج فارس استخراج گردید، تا توانایی آن در شناسایی گسل‌ها و شکستگی‌ها مورد ارزیابی قرار گیرد. نتایج این مطالعه برای بخش زیرین مخزن نفتی فهلیان نشان می‌دهد که الگوریتم شباهت، مکعب نشانگر همدوسی بهتری را از لحاظ کیفیت

صورت تشخیص ناپیوستگی‌ها، منطبق بر آن خواهد بود [۳]. در ادامه با اعمال الگوریتم‌های نشانگر همدوسی، توانایی آنها در تفسیر داده‌های لرزه‌نگاری سه بعدی جهت تعیین نحوه توزیع و روند عمومی ناپیوستگی‌ها بررسی می‌شود.

### نشانگرهای همدوسی

برای محاسبه نشانگر همدوسی از سه الگوریتم همبستگی متقابل<sup>۴</sup> (باهوریچ و فارمر<sup>۵</sup>، ۱۹۹۵)، شباهت<sup>۶</sup> (مارفورت<sup>۷</sup> و همکاران، ۱۹۹۸) و ساختار ویژه<sup>۸</sup> (گرتزتنکورن<sup>۹</sup> و مارفورت، ۱۹۹۹) می‌توان استفاده کرد. مبنای این سه روش بر اساس پیوستگی ردلرزه‌ها در یک بازه زمانی یا عمقی انتخاب شده است که ردلرزه‌های مشابه با مقادیر همدوسی بیشتر و ردلرزه‌های غیر مشابه مانند محل ناپیوستگی‌ها با مقادیر همدوسی کمتر نشان داده می‌شوند. در این مطالعه الگوریتم‌های همبستگی متقابل و شباهت بررسی خواهند شد.

### همدوسی بر مبنای الگوریتم همبستگی متقابل

باهوریچ و فارمر (۱۹۹۵) برای اولین بار استفاده از این الگوریتم را بر روی داده‌های سه بعدی لرزه‌نگاری پیشنهاد کردند و سپس مارفورت و همکاران (۱۹۹۸) آن را تعمیم دادند. در این روش برای محاسبه همدوسی که بر اساس همبستگی متقابل نرمالایز شده، ابتدا یک ردلرزه مبنای دو ردلرزه دیگر در مجاورت آن یکی در راستای به خط<sup>۱۰</sup> و دیگری در راستای عمودبه خط<sup>۱۱</sup> انتخاب می‌شود. سپس همدوسی در راستاهای به خط و عمودبه خط و در یک بازه زمانی مشخص محاسبه می‌شود. در نهایت از حاصل ضرب جذر حداکثر مقدار همدوسی در هر بازه زمانی، همدوسی به دست می‌آید. این عمل در سراسر بازه زمانی انتخابی و همچنین برای همه ردلرزه‌ها انجام شده و مکعب همدوسی محاسبه می‌شود.

شامل گسل‌ها و شکستگی‌های بزرگ و کوچک مقیاس، می‌توان مدل دقیقی از رفتار مخزن ارائه نمود. یکی از روش‌های مطالعه گسل‌ها و شکستگی‌های مخازن، استفاده از روش‌های لرزه‌نگاری می‌باشد. داده‌های لرزه‌نگاری تنها منبع حاوی اطلاعات زمین‌شناسی برای مناطق بین چاهی در مخزن به حساب می‌آیند. یکی از روش‌های شناسایی و توصیف گسل‌ها و شکستگی‌ها در مکعب حاصل از برابزش داده‌های لرزه‌ای، استفاده از نشانگرهای لرزه‌ای است. نشانگرهای لرزه‌ای که کاربرد از آنها از دهه ۷۰ میلادی آغاز شد، یک ابزار کمی بسیار مفید در تفسیر مقاطع لرزه‌ای جهت تهیه نقشه‌های کیفی و کمی از خصوصیات زمین‌شناسی به حساب می‌آیند. به گونه‌ای که هر کدام از این نشانگرهای لرزه‌ای، مشخصه‌های فیزیکی یا زمین‌شناختی خاصی از لایه‌های زیر سطحی را توصیف می‌کنند. در این راستا با استفاده از برخی نشانگرهای لرزه‌ای همچون نشانگر لرزه‌ای همدوسی<sup>۱</sup> می‌توان به مطالعه و توصیف ناپیوستگی‌های زمین‌شناسی از جمله گسل‌ها و شکستگی‌ها پرداخت.

در طبقه‌بندی نشانگرها، نشانگر همدوسی در گروه نشانگرهای هندسی<sup>۲</sup> قرار دارد. کاربرد اصلی این گونه از نشانگرها در تشخیص لایه‌بندی، تفسیر چینه‌شناسی و ارتباطات سنگ‌شناسی است [۱]. همدوسی لرزه‌ای سنجشی از تغییرات جانبی ردلرزه‌ها<sup>۳</sup> است و تشابه بین ردلرزه‌ها را با مقیاس بین صفر تا یک بیان می‌کند. هنگامی که این نشانگر بر روی داده‌های لرزه‌ای به کار برده شود، پیوستگی بین دو یا تعداد بیشتری از ردلرزه‌های پنجره بررسی را نشان می‌دهد و از آنجا که میزان پیوستگی لرزه‌ای نشانه مستقیمی از پیوستگی زمین‌شناسی است، می‌تواند تغییرات ساختاری و چینه‌شناسی را منعکس نماید. زمانی که تغییرات جانبی قابل توجهی در مقاومت صوتی لایه وجود داشته باشد، مکعب سه بعدی همدوسی به دست آمده از داده‌های لرزه‌ای سه بعدی، ابزاری کاملاً موثر در تعیین گسل‌ها و شکستگی‌ها می‌باشد [۲]. گسل‌ها در مقاطع همدوسی قائم، پیوستگی کمی نشان می‌دهند. در صورتی که در مقاطع زمانی، همدوسی گسل‌ها و ناپیوستگی‌ها با پیوستگی بیشتری مشاهده می‌شوند. نشانگر همدوسی در

1. Coherency Seismic Attribute 7. Marfurt

2. Geometric Attributes 8. Eigenstructure

3. Seismic Traces 9. Gersztenkorn

4. Cross-Correlation 10. Inline

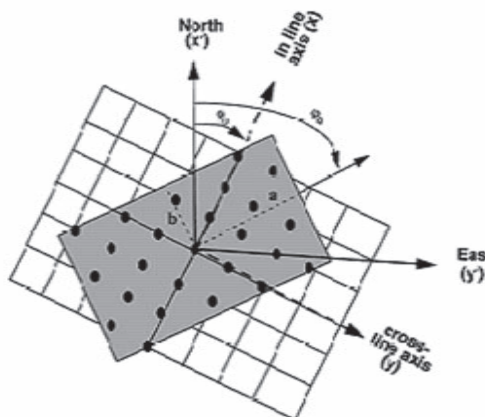
5. Bahorich & Farmer 11. Crossline

6. Semblance

### همدوسی بر مبنای الگوریتم شباهت

الگوریتم این روش توسط مارفورت و همکاران (۱۹۹۸) به عنوان روشی برای محاسبه همدوسی با استفاده از تحلیل شباهت بر روی تعداد دلخواهی از ردلرزه‌ها پیشنهاد شد. الگوریتم روش شباهت نسبت به الگوریتم همبستگی متقابل از توانایی بسیار بیشتری برخوردار است، به طوری که با استفاده از این الگوریتم می‌توان از پنجره زمانی کوتاه جهت تشخیص دقیق‌تر عوارض ساختاری کوچک و ظریف استفاده نمود. از این روش برای محاسبه همدوسی لایه‌هایی با شیب زیاد نیز استفاده می‌شود [۶]. در این روش، علاوه بر اندازه‌گیری کارا و دقیق همدوسی، شیب و آزمون نیز به دست می‌آید. در این روش، هدف پیدا کردن بیشترین پیوستگی و شباهت جانبی می‌باشد. برای اندازه‌گیری بیشترین شباهت، از تعریف پارامتر شباهت استفاده می‌شود. پارامتر شباهت میزان همدوسی موجود بین چند ردلرزه را نسبت به توان همه ردلرزه‌ها اندازه‌گیری می‌کند. تعداد ردلرزه‌های به کار رفته در محاسبه به موارد زیادی بستگی دارد. مثلاً اگر نسبت سیگنال به نوفه (S/N) کم باشد، تعداد ردلرزه بیشتری باید مورد استفاده قرار گیرد. همچنین در صورت وجود انحنا و تفکیک پذیری بالاتر، از تعداد ردلرزه کمتری استفاده می‌شود [۱].

در این الگوریتم، ابتدا همدوسی را با استفاده از پارامتر شباهت، در راستای تعداد گسسته‌ای شیب، به دست آورده و شیب با بیشترین همدوسی تعیین می‌شود [۷]. برای این کار ابتدا یک پنجره بیضی‌گون یا مستطیلی مطابق شکل ۱ شامل  $J$  ردلرزه به مرکزیت نقطه مورد بررسی تعریف می‌شود.



همبستگی متقابل در راستای به خط و با تأخیر  $l$  بین ردلرزه‌های مکعب برانبارش شده  $u$  در نقاط  $(x_{i+1}, y_i)$  و  $(x_i, y_i)$  از رابطه زیر به دست می‌آید [۲ و ۴]:

$$\rho_x(t, l, x_i, y_i) = \frac{\sum_{t=-\omega}^{+\omega} u(t-\tau, x_i, y_i) u(t-\tau-l, x_{i+1}, y_i)}{\sum_{t=-\omega}^{+\omega} u^2(t-\tau, x_i, y_i) \sum_{t=-\omega}^{+\omega} u^2(t-\tau-l, x_{i+1}, y_i)} \quad (1)$$

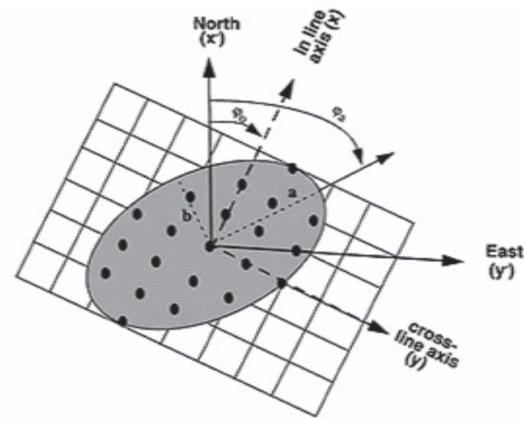
همبستگی متقابل در راستای عمود به خط و با تأخیر  $m$  بین ردلرزه‌های مکعب برانبارش شده  $u$  در نقاط  $(x_i, y_{i+1})$  و  $(x_i, y_i)$  هم از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۲ و ۴]:

$$\rho_y(t, m, x_i, y_i) = \frac{\sum_{t=-\omega}^{+\omega} u(t-\tau, x_i, y_i) u(t-\tau-m, x_i, y_{i+1})}{\sum_{t=-\omega}^{+\omega} u^2(t-\tau, x_i, y_i) \sum_{t=-\omega}^{+\omega} u^2(t-\tau-m, x_i, y_{i+1})} \quad (2)$$

در این روابط،  $\omega$  نصف طول پنجره بررسی در راستای زمان می‌باشد. نهایتاً برای تعمیم همدوسی سه بعدی، مقدار بیشینه همدوسی در راستای به خط و عمود به خط را به دست آورده و مجذور ضرب آنها به عنوان همدوسی نقطه مبنا در نظر گرفته می‌شود که از رابطه زیر قابل محاسبه است [۲ و ۴]:

$$\rho_{xy} = \sqrt{[\max \rho_x(t, l, x_i, y_i)] [\max \rho_y(t, m, x_i, y_i)]} \quad (3)$$

همبستگی متقابل هر ردلرزه در مقابل ردلرزه مجاور برای تأخیرهای زمانی مختلف، یک ماتریس کواریانس  $2 \times 2$  متفاوت برای هر جفت تأخیر  $(l, m)$  تشکیل می‌دهد. در صورت استفاده بیشتر از سه ردلرزه در معادلات ۱ و ۲ نیاز به تشکیل ماتریس کواریانس با مرتبه بالاتر با استفاده از آنالیز مقدار ویژه می‌باشد [۵]. یکی از محدودیت‌های استفاده از الگوریتم همبستگی متقابل این است که با انتخاب پنجره زمانی کوتاه در راستای مورد بررسی ( $\omega$  در معادلات ۱ و ۲) پدیده‌های مصنوعی و غیر واقعی در مکعب همدوسی ایجاد می‌شود.



شکل ۱- پنجره بررسی: (الف) بیضی‌گون و (ب) مستطیلی به مرکز نقطه مورد بررسی، به طول محور بزرگ  $a$  محور کوچک  $b$  و آزمون محور بزرگ  $\phi$  [۴]

شباهت میانگین به صورت تخمین همدوسی به صورت زیر تعریف می‌شود [۴]:

$$c(\tau, p, q) = \quad (6)$$

$$\frac{\sum_{k=-K}^{+K} \left\{ \left[ \sum_{j=1}^J u(\tau + k\Delta t - px_j - qy_j, x_j, y_j) \right]^2 + \left[ \sum_{j=1}^J u^H(\tau + k\Delta t - px_j - qy_j, x_j, y_j) \right]^2 \right\}}{J \sum_{k=-K}^{+K} \sum_{j=1}^J \left\{ \left[ u(\tau + k\Delta t - px_j - qy_j, x_j, y_j) \right]^2 + \left[ u^H(\tau + k\Delta t - px_j - qy_j, x_j, y_j) \right]^2 \right\}}$$

$\Delta t$  نمو زمانی نمونه‌ها،  $x_j$  و  $y_j$  نشان دهنده مشخصات ردلرزه زام از نقطه مبدأ و  $J$  تعداد کل ردلرزه‌ها در پنجره مورد بررسی می‌باشد. از آنجا که مرکز پنجره مورد بررسی در نقطه  $(x=0, y=0)$  قرار دارد، پس زمان قطع  $\tau$  برابر  $t$  خواهد بود.

اگر بتوان بیشترین شیب واقعی ( $d_{max}$ ) را از شیب بازتاب کننده‌ها در راستای به خط و عمود به خط به دست آورد، مقدار آن در محدوده زیر خواهد بود:

$$\sqrt{p^2 + q^2} \leq d_{max} \quad (7)$$

اگر  $a$  و  $b$  نصف پهناهای محورهای پنجره بررسی و  $f_{max}$  بیشترین فرکانس زمانی موجود در داده‌های لرزه‌ای باشد، با توجه به تعریف فرکانس نایکوئست، نمو شیب ظاهری به صورت زیر محدود خواهد شد:

$$\Delta p \leq \frac{1}{2af_{max}} \quad \text{و} \quad \Delta q \leq \frac{1}{2bf_{max}} \quad (8)$$

بنابراین، جستجو برای تخمین شیب ظاهری  $(p, q)$  بازتاب کننده‌ها در زمان  $t$ ، به محاسبه همدوسی  $c(t, p_l, q_m)$  بر روی  $n_p \times n_q$  جفت شیب ظاهری گسسته  $(p_l, q_m)$  کاهش می‌یابد که  $n_p$  و  $n_q$  به صورت زیر می‌باشند:

$$n_p = \frac{2d_{max}}{\Delta p + 1} \quad \text{و} \quad n_q = \frac{2d_{max}}{\Delta q + 1} \quad (9)$$

در این صورت، شیب‌های ظاهری  $(p_l, q_m)$  می‌تواند تخمینی از شیب‌های ظاهری بازتاب کننده  $(p, q)$  و همدوسی  $c(t, p_l, q_m)$  نیز تخمینی از همدوسی بازتاب کننده باشد، به طوری که:

$$c(t, p_l, q_m) \geq c(p_l, q_m) \quad (10)$$

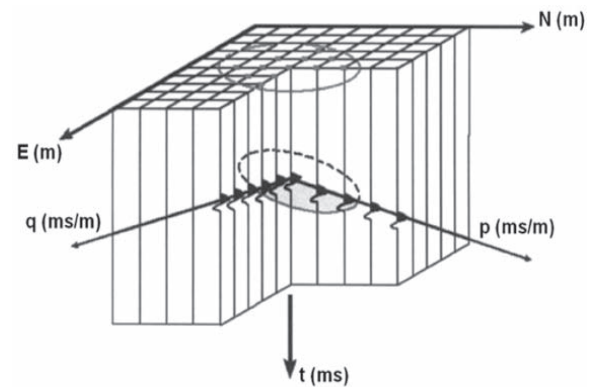
که در آن  $l$  و  $m$  به ازای مقادیر  $-n_p \leq m \leq +n_p, -n_q \leq l \leq +n_q$  برقرار می‌باشند. به عبارت دیگر همدوسی بر مبنای الگوریتم شباهت با محاسبه شباهت در طول شیب‌های مختلف به دست آمده و شیب با بیشترین همدوسی مشخص می‌شود. سپس، این شیب و همدوسی، به عنوان شیب و همدوسی نقطه مورد بررسی در نظر گرفته می‌شود. این فرآیند در شکل ۳ نشان داده شده است.

اگر مرکز پنجره بررسی  $(x, y)$  به عنوان محور اصلی در نظر گرفته شود، پارامتر شباهت  $\sigma(\tau, p, q)$  از رابطه زیر محاسبه می‌شود [۴]:

$$\sigma(\tau, p, q) = \quad (4)$$

$$\frac{\left[ \sum_{j=1}^J u(\tau - px_j - qy_j, x_j, y_j) \right]^2 + \left[ \sum_{j=1}^J u^H(\tau - px_j - qy_j, x_j, y_j) \right]^2}{J \sum_{j=1}^J \left\{ \left[ u(\tau - px_j - qy_j, x_j, y_j) \right]^2 + \left[ u^H(\tau - px_j - qy_j, x_j, y_j) \right]^2 \right\}}$$

در این رابطه  $\sigma(\tau, p, q)$  یک رخداد صفحه‌ای محلی در زمان  $\tau$  بر حسب ثانیه،  $p$  و  $q$  شیب‌های ظاهری در راستای محورهای  $x$  و  $y$  بر حسب میلی ثانیه بر متر (شکل ۲) و  $u^H$  تبدیل هیلبرت داده‌های لرزه‌ای مکعب برانبارش شده  $u$  را نشان می‌دهد.

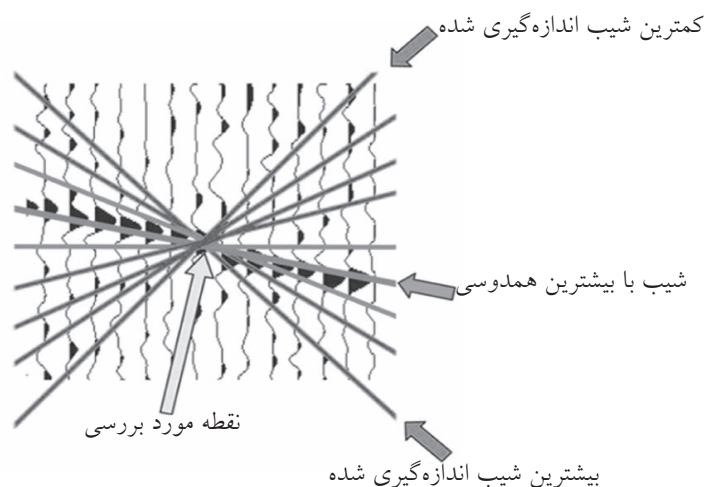


شکل ۲- محاسبه همدوسی بر روی یک پنجره بررسی بیضی‌گون با شیب‌های ظاهری  $p$  و  $q$  [۷]

برای برآورد همدوسی بر مبنای شباهت، به ازای هر نقطه درون مکعب  $u(t, x, y)$  باید یک پنجره تحلیل، به مرکزیت نقطه مورد نظر تعیین کرد و همه محاسباتی را که طبق رابطه ۴ صورت می‌گیرد، در نقش مقدار همدوسی به این نقطه نسبت داد.  $U(\tau, p, q)$  در رابطه ۵ تبدیل سه بعدی  $(\tau, p, q)$  از داده‌های ورودی  $u(t, x, y)$  است و به تبدیل رادون<sup>۱</sup> با حداقل مربعات برای فیلتر کردن شیب و درون‌یابی ردلرزه در سه بعد نسبت داده شده است که به صورت زیر نشان داده می‌شود [۸]:

$$U(\tau, p, q) = \sum_{j=1}^J u[\tau - (px_j + qy_j), x_j, y_j] \quad (5)$$

تخمین همدوسی که با استفاده از رابطه ۴ به دست می‌آید، به برخی از رخداد‌های لرزه‌ای کوچک، ناپایدار است. به همین دلیل بهتر است از شباهت میانگین در یک پنجره قائم به ارتفاع  $2\omega$  بر حسب میلی ثانیه، یا ارتفاع  $2K$  که  $K = \frac{\omega}{\Delta\tau}$  و بر حسب نمونه می‌باشد، استفاده شود. این



شکل ۳- تصویر شماتیک بررسی دو بعدی هم‌دوسی برای تعداد گسسته‌های شیب که با خطوط مختلف مشخص شده‌اند. در میان شیب‌های مختلف، شیب با بیشترین هم‌دوسی تعیین شده است [۷]

#### منطقه مورد مطالعه

نمی‌توان ناپیوستگی‌ها را مشخص کرد. در این مرحله، الگوریتم‌های هم‌دوسی بر روی مکعب داده لرزه نگاری محاسبه گردید. شکل ۷ نتیجه حاصل از اعمال نشانگر هم‌دوسی بر مبنای الگوریتم همبستگی متقابل را با پنجره بررسی ۲۸ میلی ثانیه نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، نشانگر هم‌دوسی بر مبنای همبستگی متقابل توانسته تا حدودی برخی از ناپیوستگی‌های منطقه را نشان دهد اما وضوح و دقت کافی برای بررسی آنها را ندارد.

از آنجا که نشانگرهای هم‌دوسی به نوبه حساس می‌باشند، در این مرحله سعی شد تا با اعمال فیلترهای مختلف (شامل فیلتر شیب میانه<sup>۱</sup> جهت افزایش پیوستگی بازتاب کننده‌ها، فیلتر پخش<sup>۲</sup> جهت افزایش وضوح ناپیوستگی‌ها و فیلتر بهبود گسل<sup>۳</sup> جهت کاهش پدیده‌های مصنوعی تولید شده از فیلتر پخش) بتوان تا حد امکان نسبت سیگنال به نوفه را افزایش داده و کیفیت داده‌های لرزه‌ای را بهبود بخشید. شکل ۸ نشانگر هم‌دوسی بر مبنای همبستگی متقابل با پنجره بررسی ۲۸ میلی‌ثانیه که بر روی داده‌های لرزه‌ای فیلتر شده اعمال شده است را نشان می‌دهد.

این مطالعه بر روی بخش پایینی سازند نفتی فهلیان واقع در خلیج فارس انجام شده است. این مخزن که یکی از مخازن مهم نفتی در بخش مرکزی خلیج فارس می‌باشد، از سنگ‌های آهکی با سن کرتاسه زیرین تشکیل شده است. ساختار این مخزن به صورت یک طاق‌دیس بسته است که در چهار جهت دارای شیب می‌باشد. مرزهای زیرین و زبرین این سازند در گروه خامی با انیدرید هیث و مارن‌های سازند گدوان هم شیب است. شکل ۴ ستون چینه‌شناسی را در منطقه مورد بررسی نشان می‌دهد.

#### نتایج و بحث

داده‌های لرزه‌ای استفاده شده در این مطالعه، دربرگیرنده مکعب داده‌های لرزه‌ای بعد از برانبارش می‌باشند (شکل ۵). نمونه‌برداری زمانی این داده‌ها ۴ میلی ثانیه و فاصله بین ردلرزه‌ها در دو راستای به خط و عمود به خط برابر ۵۰ متر می‌باشد. ابعاد مکعب داده‌ها در هر کدام از این دو راستا، ۱۰۰۰۰ متر و بازه زمانی آن ۶۰۰۰ میلی‌ثانیه است. از داخل این مکعب، برش زمانی ۱۰۰۸ میلی‌ثانیه که مربوط به بخش زیرین مخزن فهلیان است، جهت نمایش نشانگرهای هم‌دوسی انتخاب گردید. شکل ۶ دامنه داده‌های لرزه‌ای را در مقطع زمانی ۱۰۰۸ میلی‌ثانیه نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود، با استفاده از دامنه داده‌های لرزه‌ای،

1. Median Dip Filter

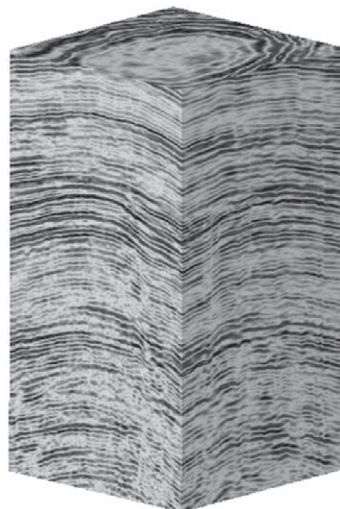
2. Diffusion Filter

3. Fault Enhancement Filter



GEOLOGIC AGE		LITHOLOGY	FORMATION	Member	Description	
TERTIARY	NEOGENE	[Red Sst/Shale pattern]	Fars Grp	Aghajari Fm	1	Red Sst/Shale
			Mishan Fm	2	Grey Shale	
			Gachsaran Fm		Evaporites	
	PALEOG.	[Lst Resr pattern]	ASMARI	3	Lst Resr	
			JAHNUM	4	Dolomite	
			PABDEH	5	Shale, Ist	
CRETACEOUS	UPPER	[Shale pattern]	Ilam Grp	ILAM	7	Lst Resr
				8		
				9		
			Bangestan Grp	LAFAN	10	
				SARVAK	11	Lst Shale
				12	Lst	
	LOWER	[Shale pattern]	Kazhdumi Grp	KAZHDUMI	16	Shale
				17		
				18		
			Khami Grp	DARIYAN	19	Lst Resr
				GADVAN	22	Shale
				23		
JURASSIC	UPPER	[Anhydrite pattern]	Khami Grp	HITH	29	Anhydrite
				30		
	MIDDLE	[Anhydrite/Dol pattern]	Khami Grp	SURMEH	31	Anhyd/Dol Cycles
					32	
				Mand	35	Porous Lst
					36	
	LOWER	[Shale pattern]	Khami Grp	SURMEH	37	Shale
					38	
				NEYZIZ	39	Lst
					40	Shale, silt, dol

شکل ۴- ستون چینه شناسی منطقه مورد مطالعه از ژوراسیک تا تریاس [۹]

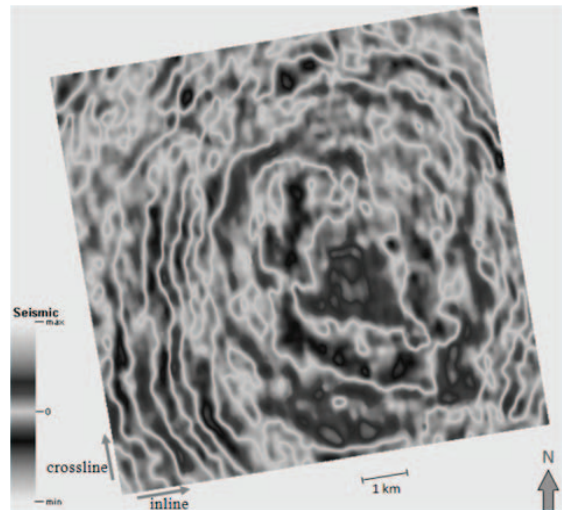


شکل ۵- مکعب داده‌های لرزه‌ای پس از بر انباشت مربوط به سازندهای مختلف در منطقه مورد بررسی واقع در خلیج فارس

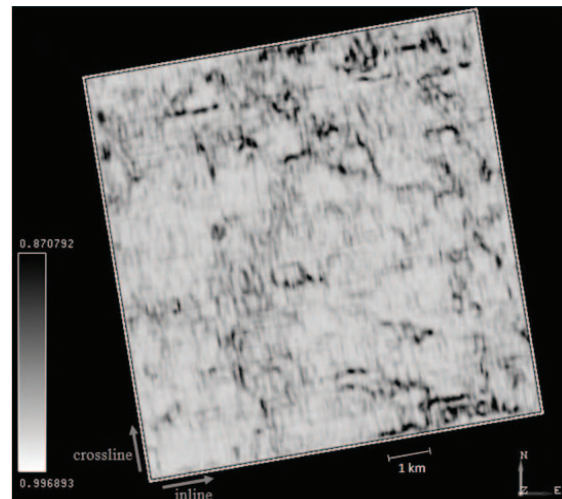
همان گونه که در این شکل مشاهده می‌شود، کیفیت نشانگر همدوسی بهتر شده و گسل‌ها و شکستگی‌ها با دقت بالاتری به نمایش درآمده‌اند. در مرحله بعد، با استفاده از الگوریتم شباهت، همدوسی داده‌های لرزه‌ای محاسبه گردید. همان طور که گفته شد، یکی از ویژگی‌های همدوسی بر مبنای شباهت، امکان محاسبه آن بر اساس اطلاعات شیب لایه‌ها است، به گونه‌ای که شباهت به ازای مقادیر متفاوت شیب به دست آمده و شیب مربوط به بیشترین همدوسی مشخص می‌شود. شکل ۹ نشانگر همدوسی بر مبنای شباهت با پنجره بررسی ۲۸ میلی ثانیه با استفاده از اطلاعات شیب و بدون استفاده از آن را نشان می‌دهد. همان طور که ملاحظه می‌شود، نشانگر شباهت به دست آمده بدون استفاده از اطلاعات شیب، دارای کیفیت پایینی است، در حالی که نشانگر به دست آمده از اطلاعات شیب، وضوح و دقت بسیار بالاتری دارد. در گام بعد، از داده‌های لرزه‌ای فیلتر شده جهت محاسبه همدوسی بر مبنای شباهت استفاده گردید. مطابق شکل ۱۰ این نشانگر توانسته جزئیات و دقت بیشتری از شکستگی‌های کوچک مقیاس را به نمایش گذارد. همچنین گسل‌هایی که در مقطع قائم دارای جابجایی بوده‌اند، در این شکل با علامت فلش مشخص شده‌اند. در مجموع می‌توان گفت که این نشانگر بهترین خروجی نشانگر همدوسی می‌باشد. از دلایل موفقیت این نشانگر می‌توان به استفاده از داده‌های شیب لایه‌ها و داده‌های لرزه‌ای فیلتر شده اشاره کرد تأثیر این دو عامل در افزایش کیفیت نشانگر همدوسی در مقطع لرزه‌ای نشان داده شده، کاملاً مشخص است.

همچنین با توجه به اینکه نمودار FMI<sup>۱</sup> چاه‌ها عمدتاً شکستگی‌ها را با قدرت تفکیک بسیار بالایی در مقایسه با قدرت تفکیک داده‌های لرزه‌نگاری نشان می‌دهد و در مقابل انتظار می‌رود چگالی و امتداد عمومی شکستگی‌ها در مقاطع لرزه‌ای قابل ردیابی باشد، لذا شکستگی‌های تعیین شده در این مطالعه با شکستگی‌های نمودار FMI چاه شماره سه در منطقه، مورد مطابقت و ارزیابی قرار گرفت.

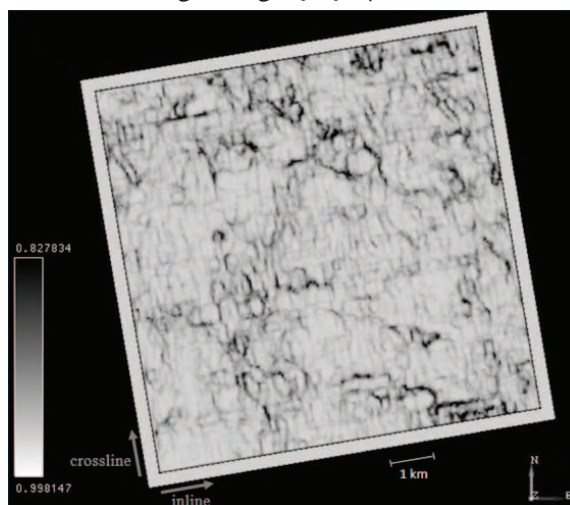
1. Fullbore Formation Micro Imager



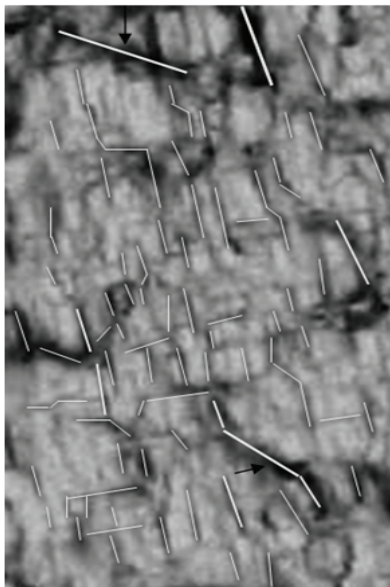
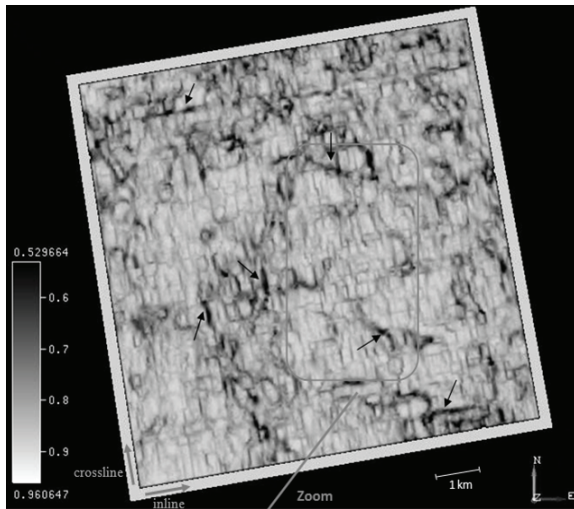
شکل ۶- دامنه داده‌های لرزه‌ای در مقطع زمانی ۱۰۰۸ میلی ثانیه مربوط به بخش زیرین مخزن فهلیان واقع در خلیج فارس



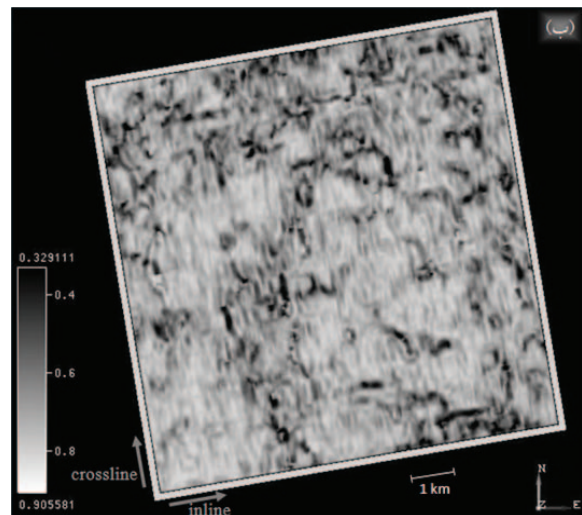
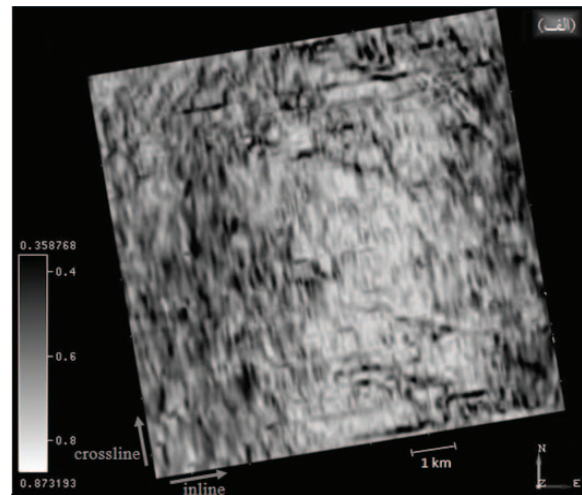
شکل ۷- نشانگر همدوسی بر مبنای الگوریتم همبستگی متقابل در مقطع زمانی ۱۰۰۸ میلی ثانیه بر روی داده‌های لرزه‌ای فیلتر شده با پنجره بررسی ۲۸ میلی ثانیه



شکل ۸- نشانگر همدوسی بر مبنای الگوریتم همبستگی متقابل در مقطع زمانی ۱۰۰۸ میلی ثانیه بر روی داده‌های لرزه‌ای فیلتر شده با پنجره بررسی ۲۸ میلی ثانیه



**شکل ۱۰-** نشانگر همدوسی بر مبنای الگوریتم شباهت در مقطع زمانی ۱۰۰۸ میلی ثانیه بر روی داده‌های لرزه‌ای پس از اعمال فیلتر بهبود گسل با پنجره بررسی ۲۸ میلی ثانیه. این نشانگر توانسته است بخوبی شکستگی‌های ریز منطقه را که نشانگرهای دیگر قادر به نمایش آن نبودند را نشان دهد. در این شکل گسل‌های اصلی منطقه با فلش نشان داده شده‌اند.



**شکل ۹-** نشانگر همدوسی بر مبنای الگوریتم شباهت در مقطع زمانی ۱۰۰۸ میلی ثانیه بر روی داده‌های لرزه‌ای فیلتر نشده با پنجره بررسی ۲۸ میلی ثانیه و در راستای محور به خط (الف) بدون استفاده از داده‌های شیب (ب) با استفاده از داده‌های شیب. مقایسه مقاطع نشان می‌دهد که کیفیت نشانگر در حالت استفاده از داده‌های شیب بسیار بهتر می‌باشد.

آمد، با نتایج حاصل از گزارش تفسیر داده‌های نمودار FMI در چاه حفاری شده این میدان مطابقت دارد.

### تشکر و قدردانی

از مدیریت محترم بخش پژوهش و توسعه شرکت مهندسی و توسعه نفت (متن) به خاطر در اختیار قرار دادن داده‌های لرزه‌ای مورد نیاز و مساعدت در به انجام رسیدن این تحقیق، کمال تشکر را داریم.

### نتیجه‌گیری

ارزیابی نشانگرهای لرزه‌ای همدوسی نشان داد که امتداد اصلی گسل‌ها و شکستگی‌های مخزن فلهلیان در مقطع زمانی ۱۰۰۸ میلی ثانیه در راستای شمال غربی - جنوب شرقی است که در این بین استفاده از الگوریتم شباهت همراه با داده‌های لرزه‌ای فیلتر شده و داده‌های شیب لایه‌ها نتایج بهتری را به همراه داشت. این نتیجه که از تفسیر داده‌های لرزه‌ای و با استفاده از نشانگر همدوسی به دست



## مراجع

- [1] Taner M.T., "Seismic attributes", Canadian Society of Exploration Geophysicists Recorder., 26, pp. 48–56, 2001.
- [2] Bahorich M.S., and Farmer S.L., "3-D seismic discontinuity for faults and stratigraphic features the coherence cube", The Leading Edge., 14, pp. 1053–1058, 1995.
- [3] Mai H.T., Marfurt K.J., and Chavez-Perez S., "Coherence and volumetric curvatures and their spatial relationship to faults and folds", an example from Chicontepec basin, Mexico, SEG International Exposition and Annual Meeting., Houston, USA, pp. 1063–1067, 2009.
- [4] Marfurt K.J., Kirilin R.L., Farmer S.H., and Bahorich M.S., "3D seismic attributes using a semblance-based coherency algorithm", Geophysics., Vol. 63, No. 4, pp. 1150–1165, 1998.
- [5] Gersztenkorn A., and Marfurt K.J., *Coherency computations with eigenstructure*, 58<sup>th</sup> Internat. Mtg., Eur. Assn. Geoscientist and Engineers, Extended Abstracts., x031, 1996.
- [6] Marfurt K.J., Sudhakar V., Gersztenkorn A., Crawford K.D., and Nissen S.E., "Coherency calculations in the presence of structural dip, Geophysics", Vol. 64, No. 1, pp. 104–111, 1999.
- [7] Chopra S., and Marfurt K.J., *Seismic attributes for prospect identification and reservoir characterization*, SEG geophysical developments., No. 11, 2007.
- [8] Marfurt K.J., and Kirilin R.L., "3D broadband estimates of reflector dip and amplitude", Geophysics., Vol. 65, No. 1, pp. 304–320, 2000.
- [9] Technical Reports of Petroleum Engineering and Development Company (PEDEC).