

## بررسی نسبت طیفی V/H در روش لرزه‌ای با چشمه‌ی طبیعی؛ (مطالعه‌ی موردی: میدان نفتی مارون)

مصطفی ابراهیمی، علی مرادی\*، دانشگاه تهران • حمید سیدین، مدیریت اکتشاف شرکت ملی نفت

### چکیده

تاکنون روش‌های مختلف ژئوفیزیکی جهت اکتشاف ذخایر هیدروکربنی استفاده شده که از میان آنها روش‌های متداول لرزه‌ای محبوبیت ویژه‌ای دارند. اگرچه روش‌های لرزه‌ای رایج مزایای زیادی دارند اما برخی محدودیت‌ها ژئوفیزیکدانان را واداشت تا روش‌های جدیدتری از جمله روش لرزه‌ای با چشمه‌ی طبیعی را مدنظر قرار دهند. در این روش از امواج منتشره در زمین استفاده می‌شود که در عبور از مخازن هیدروکربنی باعث تحریک آنها شده و سیگنال‌های با فرکانس کم ۶-۱ هرتز که خاصیت ذاتی هیدروکربن‌ها هستند تشدید شده و به صورت یک ناهنجاری طیفی نمایان می‌شوند. بنابراین انرژی این امواج به‌طور چشمگیری در بالای مخازن هیدروکربن افزایش می‌یابد و به‌عنوان نشانگر مستقیم مخزن قابل توجه و بررسی است. در این مقاله نشانگر طیفی V/H که برابر نسبت دامنه‌ی مؤلفه‌ی قائم به افقی در فرکانس‌های مختلف است بررسی شده است. مطالعات مختلف نشان می‌دهد که آنالیز طیفی در فرکانس کم برای تعیین موقعیت هیدروکربن قابل استفاده است. در مطالعات لرزه‌ای با چشمه‌ی طبیعی تنها نوفه‌های ناشی از میکروترموهای هیدروکربنی قابل استفاده است و سایر نوفه‌ها یا سیگنال‌های لرزه‌ای گذرا باید حذف شوند. در این مطالعه در ابتدا نوفه‌های گذرا را از داده‌های خام به روش STA/LTA حذف می‌شود سپس فیلتر باند پهن را در بازه‌ی ۱-۱۰ هرتز اعمال می‌کنیم و داده‌ها با استفاده از تبدیل فوریه از حوزه‌ی زمان به حوزه‌ی فرکانس برده می‌شوند. در نهایت در این مطالعه نتایج روش V/H را جهت انتخاب بهترین موقعیت هیدروکربن در ایستگاه‌های مختلف با یکدیگر مقایسه می‌کنیم. نتیجه نشان می‌دهد که نسبت طیفی V/H نشانگر مناسبی برای پی‌جویی مخازن هیدروکربنی است.

### اطلاعات مقاله

تاریخ ارسال نویسنده: ۹۵/۱۱/۰۱  
تاریخ ارسال به داور: ۹۵/۱۱/۱۲  
تاریخ پذیرش داور: ۹۶/۰۲/۰۳

### واژگان کلیدی:

روش‌های لرزه‌ای با چشمه‌ی طبیعی، میدان نفتی مارون، نشانگر طیفی، V/H

### مقدمه

می‌یابد. همچنین با افزایش فشار روباره اندازی حفرات و تخلخل سنگ‌های مخزن کاهش می‌یابد و در نتیجه با افزایش عمق، پیک دامنه نیز افزایش می‌یابد. اساس تضعیف بدین صورت است که با عبور امواج لرزه‌ای از روی یک محیط حاوی هیدروکربن امواج برشی عبوری از آن محیط میرا خواهد شد؛ زیرا امواج برشی از سیال عبور نمی‌کنند؛ اما امواج طولی با میرایی کمتر از محیط عبور خواهند کرد و به‌عبارت دیگر اساس این روش بر تضعیف بیشتر امواج برشی نسبت به امواج تراکمی در محیط‌های حاوی سیال است؛ بنابراین امواج تراکمی P در محیط‌های سیال می‌توانند حرکت کنند اما انرژی امواج برشی (SH) که مؤلفه‌ی افقی دارند با عبور از چنین محیط‌هایی به‌شدت کاسته می‌شوند. پراکندگی تشدید به‌دلیل تفاوت امپدانس محیط هیدروکربن و محیط غیرسیال است و این تضاد امپدانس باعث بازتاب می‌شود.

نسبت طیفی جهت اکتشاف ذخایر هیدروکربنی برای اولین بار در سال ۲۰۰۳ توسط دانگل و از مؤلفه‌ی قائم میکروترمو بر آنومالی ذخیره‌ی هیدروکربنی گزارش شد [۲]. چنین آنومالی‌ایی در بازه‌ی ۴-۱ هرتز برای طیف نسبی قائم با محیط‌های اطراف مقایسه می‌شد.

یکی از نشانگرهای ذخایر هیدروکربنی در روش لرزه‌ای با چشمه‌ی طبیعی نسبت طیف فرکانسی دامنه‌ی مؤلفه‌ی قائم به افقی است. اگر بخواهیم ریشه‌ی تئوری نسبت مؤلفه‌ی قائم به افقی را پیدا کنیم نظریه‌ی اصلی توسط ناکامورا و برای عکس این نسبت بیان شد که پیک را در فرکانس تشدید امواج SH می‌دهد. جهت مطالعه‌ی امواج SH باید پیک را در مؤلفه‌ی طیف افقی میکروترمو و مؤلفه‌ی قائم میکروترمو ببینیم که به‌سادگی به‌عنوان یک تابع نرمالیزاسیون عمل می‌کند. این تحقیقات بیان می‌کنند که میکروترمو به امواج سطحی تجزیه شده است. با توجه به این تفاسیر پیک می‌تواند در H/V وجود داشته باشد به‌دلیل پیک در مؤلفه‌های افقی است و این پیک به‌وسیله‌ی امواج لاو یا SH ایجاد می‌شود. آزمایش‌ها از لحاظ تجربی نشان می‌دهد که طیف حاصل می‌تواند ناشی از سه دلیل تقویت‌شدگی، تضعیف یا پراکندگی تشدید باشد (شکل-۱).

دلیل تقویت‌شدگی اینست که با افزایش عمق، فشار روباره بر ذخیره‌ی هیدروکربنی بیشتر می‌شود و فشار سیال مخزن افزایش

\* نویسنده‌ی عهده‌دار مکاتبات (asmoradi@ut.ac.ir)

۶-۱ هرتز به وسیله‌ی دستگاه‌های ثبات، ثبت می‌شوند. با بررسی طیف‌های دامنه‌ی مؤلفه‌های قائم به افقی V/H امواج رسیده به هر ایستگاه، به وسیله‌ی لرزه‌نگارهای روی مخزن و اطراف آن و مقایسه‌ی آنها با یکدیگر می‌توان چگونگی توزیع آنومالی روی مخزن هیدروکربنی و زیر ایستگاه‌ها را به دست آورد. بر اساس گزارش ساینگر در سال ۲۰۰۷ نشانگر دیگر ذخایر هیدروکربنی در امواج لرزه‌ای با آنالیز نسبت طیف لرزه‌نگاشت‌های مؤلفه‌ی قائم و افقی استخراج می‌شود و نسبت طیف مؤلفه‌ی قائم به افقی V/H در محدوده‌ی فرکانس‌های کم ۶-۱ هرتز به حضور هیدروکربن‌ها مرتبط بوده و در موقعیت‌های بالای مخزن میزان آن به بیش از یک افزایش می‌یابد [۵ و ۶]. نشانگر V/H نسبت به طیف مطلق مؤلفه‌های قائم و افقی تقریباً یکنواخت است و این امر مؤید آنست که میزان دامنه‌ی طیف یا چگالی طیف توان در مؤلفه‌های قائم و افقی تقریباً یکنواخت تغییر می‌کنند؛ به طوری که نسبت بین آنها تغییرات قابل توجهی را نشان نمی‌دهد [۷].

#### ۱- زمین‌شناسی منطقه‌ی مورد مطالعه

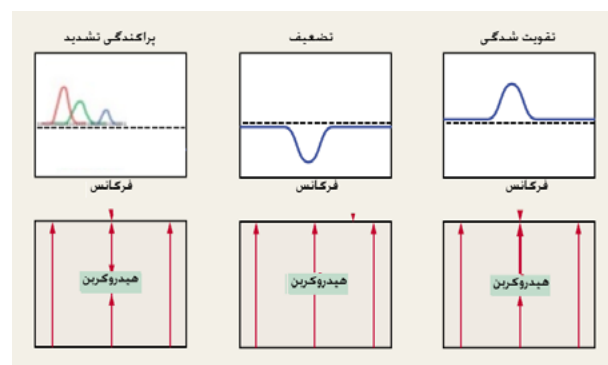
منطقه‌ی مورد مطالعه در جنوب غرب ایران در ۴۰ کیلومتری جنوب شرق اهواز قرار دارد. ایستگاه‌ها روی رؤس یک پنج‌ضلعی در اطراف تاقدیس مارون به شرح زیر قرار گرفته‌اند (شکل-۲). طول و عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح آزاد دریا و زمین‌شناسی سطحی ایستگاه‌ها در جدول ۱- و شکل ۳- آورده شده است. شکل ۳- موقعیت تمام ایستگاه‌ها را نشان می‌دهد که در آن ایستگاه MAR1 در روستای سودان در فاصله‌ی حدود یک کیلومتر در جنوب غرب تاقدیس مارون و حدود ۳۵۰ متر در غرب گسل مارون قرار دارد. ایستگاه MAR2 در روستا مشرف کوچک در فاصله‌ی حدود ۷/۷ کیلومتر از ایستگاه ۱- به موازات گسل مارون است و این ایستگاه نیز در جنوب غرب گسل و تاقدیس مارون به ترتیب با فاصله‌ی تقریبی ۳۰۰ متر و ۱/۲ کیلومتر واقع شده است. ایستگاه MAR3 در روستای بیت سوادی در شمال شرقی تاقدیس مارون قرار دارد. ایستگاه MAR4 در روستای الوان مسلم با فاصله‌ی حدود ۹/۶ کیلومتر از سه ایستگاه در شمال شرقی تاقدیس مارون واقع شده است. ایستگاه MAR5 در روستای اوده در فاصله‌ی حدود ۷ کیلومتری از انتهای شمالی تاقدیس مارون قرار دارد [۸ و ۹].

#### ۱-۱- داده‌برداری در منطقه‌ی مورد مطالعه

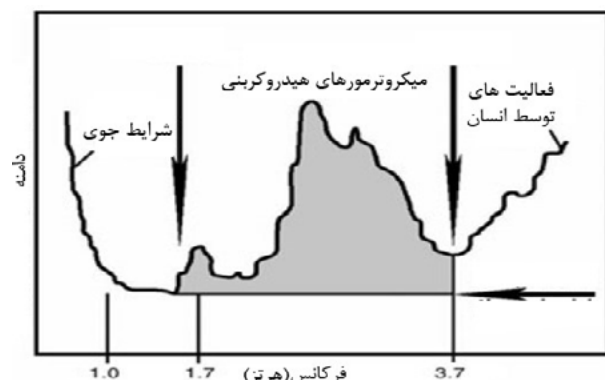
برداشت داده‌های لرزه‌ای در میدان نفتی مارون و اطراف آن توسط یک شبکه‌ی موقت لرزه‌نگاری پنج ایستگاهی در سال ۲۰۰۵ با هدف بررسی و تأثیر زمین لرزه‌ها روی تولید چاه‌های استخراج نفت انجام شده و به مدت یک ماه داده بررسی گردید. امواج لرزه‌ای توسط پنج لرزه‌نگاشت بانند پهن سه مؤلفه‌ای

تا اینکه در سال ۲۰۰۸ آنومالی‌های ظاهراً مشابهی شروع به نقد شد و پس از آن در سال ۲۰۰۸ پیک مؤلفه‌ی طیفی قائم در بازه‌ی فرکانسی بزرگ‌تر از ۳/۷-۱/۷ هرتز یا به عبارتی در بازه‌ی فرکانسی ۷-۱ هرتز توسط واکر بررسی گردید [۳].

در سال‌های اخیر مطالعات متعددی جهت استفاده از امواج لرزه‌ای انتشار یافته در زمین در اکتشاف منابع هیدروکربنی انجام شده است. نوفه‌ی منابع مختلفی مثل زلزله‌ها، خردلرزه‌ها، برخورد امواج اقیانوس با قاره‌ها، فعالیت‌های انسانی، شرایط جوی یا فعالیت‌های ناشی از میکروترموهای هیدروکربنی دارد و با توجه به اینکه متغیرهای چشمه‌ی انرژی آنها برخلاف روش‌های لرزه‌ای معمول کنترل شده نیست، در مطالعات لرزه‌ای با چشمه‌ی طبیعی تنها نوفه‌های ناشی از میکروترموهای هیدروکربنی قابل استفاده است و سایر نوفه‌ها باید حذف شوند (شکل-۲) [۴]. با عبور امواج لرزه‌ای از روی مخازن هیدروکربنی، امواج با فرکانس‌های



۱ | مکانیسم‌های محتمل برای تولید طیف به‌عنوان نشانگر در میکروترموهای هیدروکربنی عبارتند از تقویت‌شدگی، تضعیف و پراکندگی تشدید [۱]



۲ | منابع مختلف نوفه‌ها در فرکانس‌های کم. بازه‌ی کمتر از یک هرتز مربوط شرایط جوی است، بازه‌ی بیشتر از ۳/۷ هرتز مربوط به فعالیت‌های انسان است و در روش‌های لرزه‌ای با چشمه‌ی طبیعی به دلیل اینکه در بازه‌ی ۳/۷-۱/۷ هرتز مربوط به میکروترموهای هیدروکربنی است، پس بیشتر تمرکز بر این بازه است و سایر نوفه‌ها حذف می‌شوند.

بر ثانیه انجام شده است.

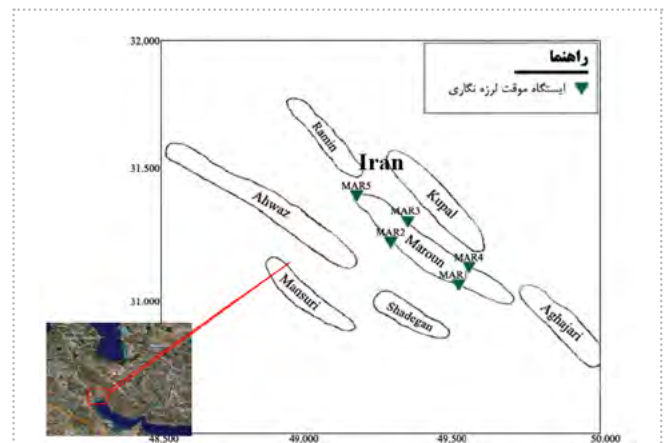
## ۲- پردازش داده‌ها

در روش لرزه‌ای با چشمه‌ی طبیعی نسبت طیف فرکانسی دامنه‌ی مؤلفه‌ی قائم به افقی، باید مراحل زیر را به ترتیب شکل ۴- انجام داد [۱۰].

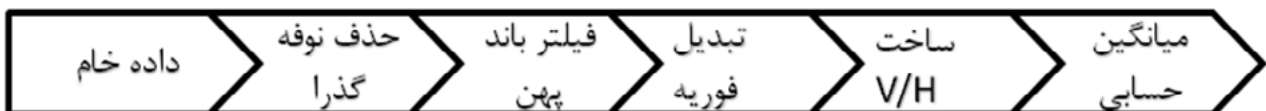
### ۱-۲ حذف نوفه‌های گذرا

پس از تبدیل فرمت داده‌های خام، برای جداسازی نوفه‌های گذرا مانند زمین‌لرزه، از روش نسبت میانگین کوتاه‌مدت به میانگین بلندمدت یا STA/LTA استفاده می‌شود. به عبارت دیگر این نوع پردازش جهت حذف زمین‌لرزه یا نوفه‌ی گذرا از نوفه‌های طبیعی زمین است (در مطالعات لرزه‌ای با چشمه‌ی طبیعی، زلزله و نوفه‌های مصنوعی توسط انسان باید حذف گردد) [۱۱]. در این مطالعه روش STA/LTA در شناسایی رویدادها عملکرد موفقی دارد. میزان نوفه‌های گذرا برای دسامبر ۲۰۰۵، تعداد ۲۱۱ رویداد بود که حذف شد. از آنجا که پایش لرزه‌ای با چشمه‌ی طبیعی ممکن است ماه‌ها و سال‌ها زمان ببرد، تجزیه و تحلیل داده‌ها و تعیین رویداد زلزله در آن به صورت دستی وقت گیر و غیردقیق است. علاوه بر این در حضور نوفه‌های متنوع، تشخیص رسید زمین‌لرزه‌ها چالش برانگیز خواهد بود. از این رو، استفاده از این روش خودکار بسیار مفید است. این روش یک روش محاسباتی

در این شبکه ثبت گردیده‌اند. در ایستگاه‌های MAR1-4 از لرزه‌نگاشت GBV-316 با پاسخ فرکانسی ۵-۴/۵ هرتز و حساسیت ۲۸۰۰۰ ولت بر متر بر ثانیه استفاده شده است. حس گرهای ۴/۵ هرتز با آمپلی‌فایر با بزرگ‌نمایی زیاد ترکیب شده‌اند و حساسیت مشابهی با لرزه‌نگاشت‌های استاندارد یک هرتز برای ثبت لرزش‌های با فرکانس بیش از ۰/۲ هرتز دارند. در ایستگاه MAR5 رکورد امواج توسط لرزه‌نگاشت‌های GURALP-6TD با پاسخ فرکانسی ۵۰-۰/۰۳ هرتز و حساسیت ۲۰۰۰ ولت بر متر



شکل ۳ | محل نصب ایستگاه‌های لرزه‌ای باند پهن در حوالی میدان نفتی مارون اهواز در دسامبر ۲۰۰۵ (ایستگاه‌ها با مثلث سبز رنگ مشخص شده‌اند)



شکل ۴ | مراحل پیاده‌سازی روش نسبت طیف فرکانسی دامنه‌ی مؤلفه‌ی قائم به افقی (H/V)

جدول ۱ | موقعیت، ارتفاع از سطح آزاد دریا و زمین‌شناسی سطحی ایستگاه‌ها در میدان نفتی مارون

| شناسه‌ی ایستگاه | نام روستا   | عرض جغرافیایی (درجه) | طول جغرافیایی (درجه) | ارتفاع (متر) | وضعیت خاک                       |
|-----------------|-------------|----------------------|----------------------|--------------|---------------------------------|
| MAR1            | سودان       | ۳۱/۰۸۶               | ۴۹/۲۷۵               | ۳۳           | آبرفت و در نزدیکی سازند آغاچاری |
| MAR2            | مشارفه کوچک | ۳۱/۱۴۵               | ۴۹/۲۲۶               | ۵۱/۶         | آبرفت و در نزدیکی سازند آغاچاری |
| MAR3            | بیت سوادى   | ۳۱/۱۹۶               | ۴۹/۳۰۱               | ۷۷           | آبرفت                           |
| MAR4            | الوان مسلم  | ۳۱/۱۱۸               | ۴۹/۳۸                | ۱۰۶/۹        | آبرفت                           |
| MAR5            | اوده        | ۳۱/۲۷۸               | ۴۹/۱۳۱               | ۵۳/۲         | آبرفت                           |

رویداد ثبت شده (نیاز به تشخیص دارد) بستگی دارد و اندازه‌ی پنجره‌ی بلندمدت  $L$  حدود ۵-۱۰ برابر پنجره‌ی کوتاه‌مدت است. الگوریتم STA/LTA برای هر شکل موج از لرزه‌نگاشت اعمال شد. در این مطالعه اندازه‌ی پنجره‌ی STA، ۲ ثانیه و اندازه‌ی پنجره‌ی LTA، ۲۰ ثانیه در نظر گرفته شد و با اعمال آن موفق شدیم ۲۱۱ رویداد لرزه‌ای و نوفه‌ی گذرا را از کل داده‌ها حذف کنیم.

### ۳- تبدیل فوری داده‌ها

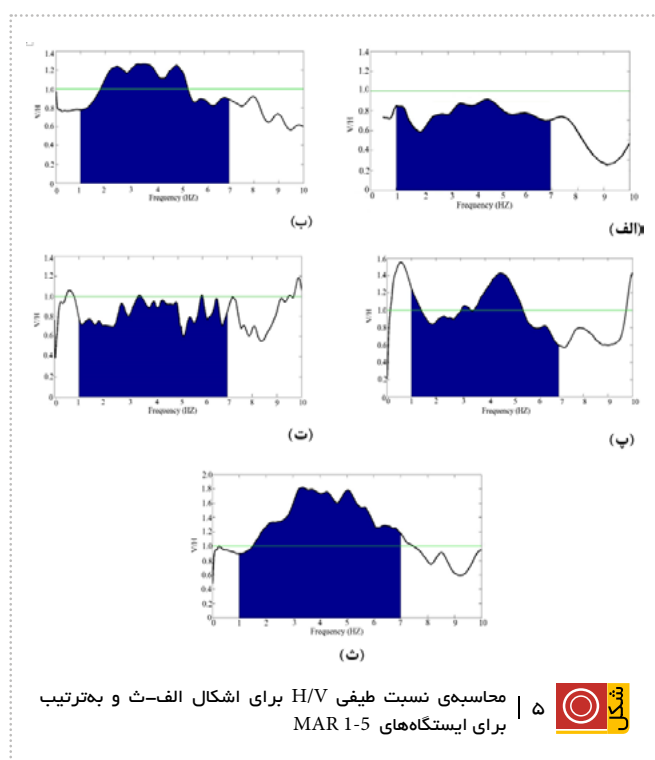
در محاسبه‌ی نسبت مؤلفه‌ی قائم به افقی باید لرزه‌نگاشت‌ها با استفاده از تبدیل فوری از حوزه‌ی زمان به حوزه‌ی فرکانس برده شوند و سپس در این حوزه نسبت دامنه‌ی مؤلفه‌ی قائم به افقی محاسبه گردد.

$$X(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} X(t) e^{-j\omega t} dt \quad (5)$$

$$\frac{V}{H} = \frac{X_V(\omega)}{X_H(\omega)} \quad (6)$$

$$\frac{V}{H} = \sqrt{\frac{2UP^2}{(EW^2 + NS^2)}} \quad (7)$$

بر اساس گزارش لامبرت در ۲۰۰۷ میزان این نشانگرها برای تعیین



شکل ۵ | محاسبه‌ی نسبت طیفی H/V برای اشکال الف-ت و به ترتیب برای ایستگاه‌های MAR 1-5

سریع برای تشخیص رویداد در داده‌های لرزه‌ای ثبت شده است. الگوریتم شناسایی خودکار رویداد زلزله یا نوفه‌ی گذرا از طریق پنجره‌های انرژی داده‌های لرزه با چشمه‌ی طبیعی امکان‌پذیر است و از نسبت میانگین کوتاه‌مدت به میانگین بلندمدت هر رکورد STA/LTA محاسبه می‌شود. هدف از انجام این مطالعه علاوه بر جداسازی نوفه‌ی طبیعی از نوفه‌ی مصنوعی، جداسازی زلزله‌ها نیز هست.

در آغاز شروع ثبت یک رویداد، نسبت STA/LTA (توجه داشته باشید که نسبت‌های STA/LTA به‌عنوان تغییر دامنه‌های این نسبت با توجه به زمان ثبت سیگنال تعریف می‌شود) به‌طور قابل توجهی افزایش می‌یابد و در پایان این رویداد، نسبت STA/LTA در قیاس با بقیه‌ی سیگنال لرزه با چشمه‌ی طبیعی به‌سرعت کاهش می‌یابد [۱۲]. از این رو الگوریتم مذکور برای شناسایی رویدادهایی مانند زلزله که با تغییری ناگهانی در دامنه مشخص می‌شوند استفاده می‌گردد. روش STA/LTA استفاده شده یک رویداد را با اندازه‌گیری شباهت‌های نسبت انرژی STA/LTA در زمان وقوع آن در گیرنده‌ها شناسایی می‌کند.

روش STA/LTA روشی جهت تشخیص خودکار رویداد است که در آن نسبت انرژی میانگین کوتاه‌مدت به میانگین بلندمدت از داده‌های لرزه‌ای با چشمه‌ی طبیعی و استفاده از عملیات حرکت پنجره‌ها محاسبه می‌شود. میانگین کوتاه‌مدت و میانگین بلندمدت در اولین پنجره‌ی زمانی به ترتیب در ۱۹۷۸ توسط آلن و در ۲۰۰۷ توسط تن محاسبه شد [۱۳ و ۱۲]:

$$STA = \frac{1}{S} \sum_{j=L-S+1}^L a_j^2 \quad (1)$$

$$LTA = \frac{1}{L} \sum_{j=1}^L a_j^2 \quad (2)$$

که در آن  $L$  و  $S$  به ترتیب تعداد نمونه داده‌ها در پنجره‌های بلندمدت و کوتاه‌مدت است و از دامنه‌ی زام نمونه است. نسبت  $R = \frac{STA}{LTA}$ ، پس از محاسبه‌ی  $R$  در این پنجره، پنجره توسط یک نمونه حرکت کرده و نسبت STA/LTA برای پنجره‌ی جدید محاسبه می‌شود. برای پنجره‌ی  $n$ ام، STA و LTA طبق روابط ۳ و ۴ محاسبه می‌شوند.

$$STA_N = \frac{1}{S} \sum_{j=L-S+N}^{L+N-1} a_j^2 \quad (3)$$

$$LTA_N = \frac{1}{L} \sum_{j=N}^{L+N-1} a_j^2 \quad (4)$$

باید توجه داشت که اندازه‌ی پنجره‌ی کوتاه‌مدت  $S$  به مدت

می‌شود. همان‌طور که در شکل ۵-۵ ملاحظه می‌شود نمودار V/H در ایستگاه ۵-۵ در بازه‌ی فرکانسی مورد نظر بالای عدد یک است و پیک V/H در آن ۱/۸ است که با توجه به تئوری‌های گفته شده در مورد این نشانگر وجود هیدروکربن در آن قابل توجیه است.

### نتیجه‌گیری

در ایستگاه MAR1 با توجه به مقدار V/H میزان وجود هیدروکربن در منطقه رد می‌شود که البته با توجه به مطالعات ژئوفیزیکی پیشین این‌گونه انتظار می‌رفت. با توجه به میزان V/H در ایستگاه‌های MAR2 و MAR3 تا حدی احتمال وجود منبع هیدروکربنی مستقل وجود دارد اما با توجه به مقدار کم آن باید از روش‌های دیگر برای اطمینان بیشتر سود جست. در ایستگاه MAR4 طیف حاصل شکل خاصی ندارد و متغیر است که این به دلیل نویزی بودن بیش از حد سیگنال‌هاست و بنابراین نشانگر V/H با داده‌ی موجود، قابل بررسی و استفاده نیست. در ایستگاه MAR5 بیشینه‌ی مقدار V/H مشاهده شد که نشان‌دهنده‌ی حضور هیدروکربن است و با نتایج برداشت‌های سه‌بعدی لرزه‌ای هم‌خوانی دارد.

موقعیت مخازن هیدروکربنی به کار می‌رود. طبق این گزارش‌ها میزان این نشانگر در بالای مخازن هیدروکربنی در بازه‌ی ۶-۱ هرترز به بیش از یک افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر این پدیده مؤید آنست که میکروترومورهای هیدروکربنی در راستای قائم نوسان داشته و عامل ایجاد ناهنجاری طیفی در مؤلفه‌ی قائم می‌شود. در بررسی طیف‌های دامنه‌ی قائم و افقی این نتیجه حاصل می‌شود که عبور امواج برشی از مواد کم‌چگال‌تر و سیال‌تر دشوار است و در نتیجه میرایی بیشتری دارند. با محاسبه‌ی نسبت طیف دامنه‌ی قائم به افقی روی یک مخزن هیدروکربنی مقدار حاصل از این نسبت باید بیشتر از یک باشد.

در شکل ۵-۵ الف در ایستگاه MAR1 میزان پیک V/H برابر ۰/۹ است. در شکل ۵-۵ ب و پ در ایستگاه‌های MAR2 و MAR3 میزان پیک V/H به ترتیب برابر ۱/۲ و ۱/۴ است که در هر دو مقادیر بیشتر از یک است.

با توجه به شکل ۵-۵ ت مشاهده می‌شود که در فرکانس ۶-۱ هرترز مقدار طیف کمتر از یک است. لازم به ذکر است که طیف شکل خاصی را پیروی نمی‌کند و متغیر است که این به دلیل نویزی بودن بیش از حد سیگنال‌هاست که در نشانگرهای دیگر به تفصیل بدان پرداخته

### منابع

- [1] GRAF, R., SCHMALHOLZ, S.M., PODLADCHIKOV, Y. and SAENGER, E.H., 2007. Passive low frequency spectral analysis: Exploring a new field in geophysics. *World Oil*, 228(1)
- [2] Dangel, S., Schaepman, M.E., Stoll, E.P., Carniel, R., Barzandji, O., Rode, E.D. and Singer, J.M., 2003. Phenomenology of tremor-like signals observed over hydrocarbon reservoirs. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 128(1), pp.135-158.c
- [3] Walker, D., 2008. Recent developments in low frequency spectral analysis of passive seismic data. *First break*, 26(2).
- [4] Gerivani, H., Haghshenas, E., Moghaddas, N.H. and Ghafoori, M., 2012. Frequency-amplitude range of hydrocarbon microtremors and a discussion on their source. *Journal of Geophysics and Engineering*, 9(6), p.62
- [5] Saenger, E.H., Torres, A., Rentsch, S., Lambert, M., Schmalholz, S.M. and Mendez-Hernandez, E., 2007. A hydrocarbon microtremor survey over a gas field: Identification of seismic attributes. In *SEG Technical Program Expanded Abstracts 2007* (pp. 1277-1281). Society of Exploration Geophysicists.
- [6] Saenger, E.H., Schmalholz, S.M., Lambert, M.A., Nguyen, T.T., Torres, A., Metzger, S., Habiger, R.M., Müller, T., Rentsch, S. and Méndez-Hernández, E., 2009. A passive seismic survey over a gas field: Analysis of low-frequency anomalies. *Geophysics*, 74(2), pp.O29-O40.
- [7] Bard, P.Y., 1999. Microtremor measurements: a tool for site effect estimation. The effects of surface geology on seismic motion, 3, pp.1251-1279.
- [8] Seidin, H., Tvedt, E., Mokhtari, M., Havskov, J. and Ojeda, J., 2005. Statoil ASA, Norway.
- [9] Berberian, M., 1995. Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morpho-tectonics. *Tectonophysics*, 241(3-4), pp.193197199-195224
- [10] Saadatmand, M.R., Moradi, A. and Hashemi, H., 2013. Passive seismic survey on the Darquain oil field. *Journal of Tethys*: Vol, 1(3), pp.215-224.
- [11] Forghani-Arani, F., Behura, J., Haines, S.S. and Batzle, M., 2013. An automated cross-correlation based event detection technique and its application to a surface passive data set. *Geophysical Prospecting*, 61(4), pp.778-787.
- [12] Tan, J.F., Bland, H.C. and Stewart, R.R., 2008. Classification of microseismic events from bitumen production at Cold Lake, Alberta. In *Masters Abstracts International* (Vol. 46, No. 06).
- [13] Allen, R.V., 1978. Automatic earthquake recognition and timing from single traces. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 68(5), pp.1521-1532.