

## مقایسه روش‌های SSR و H/V در تحلیل داده‌های مایکروترمور منطقه کامیاران

حسین هاشمی<sup>۱\*</sup> و مهدیه معاذاللهی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>استادیار، گروه فیزیک زمین، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران  
<sup>۲</sup>دانش‌آموخته کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، ایران

(دریافت: ۹۰/۳/۳۰، پذیرش نهایی: ۹۰/۱۱/۱۱)

### چکیده

امروزه مایکروترمورها به‌نحو روزافزون در تحقیقات ریزپهنه‌بندی و تعیین اثر ساختمان به کار برده می‌شوند. در این مقاله با استفاده از موارد ثبت شده مایکروترمور به بررسی اثرات ساختمان پرداخته‌ایم. در ابتدا روش‌های آنالیز داده‌های مایکروترمور مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور داده‌های مایکروترمور با استفاده از دو روش متداول نسبت طیفی مولفه افقی به قائم (H/V) و نسبت طیفی استاندارد (SSR)، با استفاده از طیف فوریه FFT، تحلیل شد. در صورت استفاده از فیلترهای مناسب قله به دست آمده در طیف‌های دامنه حاصل از روش H/V به خوبی می‌تواند فرکانس غالب و میزان تشدید یک رخداد لرزه ای را نشان دهد. روش نسبت طیفی مولفه افقی به قائم، به‌خوبی مقادیر بسامد غالب و ضریب تقویت را نشان می‌دهد و روش نسبت طیفی استاندارد فقط در جاهایی کارآمد است که فاصله ساختمان مورد بررسی تا ساختمان مرجع مناسب باشد. این روش همچنین برای واسنجی کردن روش نسبت طیفی مولفه افقی به قائم نیز مناسب است. نتایج حاصل از این مقاله کمک شایانی به مطالعات ریز پهنه بندی لرزه ای خواهد کرد.

واژه‌های کلیدی: مایکروترمور، روش SSR، روش H/V، کامیاران، ریز پهنه بندی

## Comparison of SSR and H/V microtremor data analysis techniques

Hashemi, H<sup>1</sup>. and Maazallahi, M<sup>2</sup>.

<sup>1</sup>Assistant Professor, Earth Physics Department, Institute of Geophysics, University of Tehran, Iran

<sup>2</sup>M.Sc. in Geophysics, Islamic Azad University of Tehran North Branch, Iran

(Received: 20 Jun 2011, Accepted: 31 Jan 2012)

### Abstract

The destructions caused by many recent earthquakes shows that the subsurface structure directly affects the ground motions. Especially in areas with possible seismic hazard expectation, expansion of cities has come up with detailed vulnerability analysis. Therefore, site response investigation is a key step in every microzonation study. One of the best approaches for understanding the geological structure is to observe the seismic ground motions on the ground surface. Although mostly qualitative measures are presented, the relationship between the destruction caused by earthquakes and site effect has been proven by many researchers. So, it is widely known that the site response is the most important information needed in site evaluation. So, there is a great need to evaluate the dynamic site response characteristics such as resonant frequency and amplification factor efficiently and cost-effectively. These data are not only useful for earthquake engineers but geotechnical engineers and seismologists.

Nowadays, microtremors are being used in site effect and microzonation studies.

Microtremors are the ubiquitous, weak, low amplitude vibrations which may be recorded on the surface of the earth. Microtremors are used as passive seismic methods which are cost effective, so they are being used increasingly. Studies by many scientists (e.g. Aki, 1957; Nakamura, 1989; Lachet and Bard, 1994; Lermo and Chavez-Garcia, 1994) about nature of microtremor sources and effect on ground identify the atmospheric disturbances and meteorological phenomena over the land or the sea as well as human activities as generators of microtremors. The relationship between local geological structure of surface layers and microtremor spectral characteristics has been proven by the above mentioned scientists. The most commonly used methods to quantify this relationship, are the well known Standard Spectral Ratio technique which requires the simultaneous measurement of local and remote reference data on bedrock (Borcherdt and Gibbs, 1976) and the more recent Horizontal to Vertical Spectral Ratio (Nakamura, 1989), each of which has its own advantages and disadvantages. A difficulty of SSR technique is selection of an appropriate reference site on the outcrop of bedrock, which is also free of topographic effects. The last mentioned point is vital for analyzing and interpreting data. The H/V technique assumes that the vertical component is not amplified by the local geology.

In the present paper microtremor data has been analyzed using Standard Spectral Ratio (SSR) and horizontal to vertical Spectral ratio (H/V) techniques using FFT spectral analysis method, in Kamyaran city using a developed code in Matlab software. Kamyaran city is located in Kordestan province in west of Iran with an area of 2950 square kilometers and its elevation from sea level is 1400 meter. It is located in the longitude of 34.793 and the latitude 46.936. Due to the high seismicity of Kamyaran city, a national project was carried out in order to measure the microtremors and evaluate site response and estimate the relation between ground motions and geological structure i.e. amplification level and resonant frequencies. In other words, quantifying and comprehending the local geology and ground motions in Kamyaran City is a main task of this project. Using geological and seismological approaches, we can achieve such a task.

In order to carry out this, two cost effective seismological techniques were used; Horizontal to vertical ratio (H/V)(Nakamura, 1989; Lachet and Bard, 1994; Lermo and Chaez- Garcia, 1994) and Standard Spectral ratio (SSR)(e.g. Borcherdt and Gibbs, 1976;) for processing the recorded microtremor data in studied area. Also, a comparison is made between the results of the two techniques.

Ambient noise data were collected using SSR1 sensor in Kamyaran city; ten appropriate stations were selected among all recorded stations for site effect evaluation.

The H/V technique should be more concentrated, because powerful near field noise causes amplification of both the horizontal and vertical components similarly. Practically, it results in underestimation of real H/V ratio, because of the distortion caused by leakage. In coincidence of the noise and real ground resonant frequencies, these effects are more noticeable. At the end for better interpretation the geological and geotechnical data are used.

H/V technique appears to be more useful in site response evaluation, because it yields precise resonant frequency and amplification factor and it has a greater correspondence with the available geological information. On the other hand, SSR technique (with respect to a reference rock-site station) appears to be useful in sites close to the reference site and it can be used in H/V calibration.

As mentioned before, generally, the results obtained from both techniques are relatively similar in many sites of the studied area. Detailed comparison yields that H/V techniques shows a greater consistency to the available geological data (not mentioned here) than SSR technique. On the other hand, in sites with a close distance to the reference site, SSR technique yields data similar to H/V technique. This result

demonstrates the advantage of application of the SSR in interpretation of the obtained H/V ratios. Also, a good way to solve the problems of these methods is applying both techniques and interpretation of the results together, which has been proved by other authors as well.

**Key words:** Microtremor, SSR technique, H/V technique, Kamyaran, Microzonation

## ۱ مقدمه

(۲۰۰۷). از آنجاکه داده‌های مایکروترمور دارای اطلاعات با ارزشی از خاک محل است، در تعیین اثر ساختگاه کمک زیادی می‌کند. بنابراین این داده‌ها نه تنها برای مهندسان زلزله، بلکه برای مهندسان ژئوتکنیک و لرزه‌شناسی نیز حائز اهمیت فراوانی هستند. امواج غالب در مایکروترمورها، امواج سطحی‌اند.

لرزه‌های بزرگ، به ویژگی‌ها و اثرات ساختگاه محلی مربوط است. به‌خوبی اثبات شده است که اثر شرایط زمین‌شناسی بر لرزش زمین عامل مهمی در مهندسی زلزله است. به‌ویژه، پوشش رسوبات نرم، حرکت لرزه‌ای را تقویت می‌کند. هنگامی که نوسان‌ها نزدیک به دوره اساسی لرزش ساختمان باشد، آسیب‌های بزرگ‌تری برآورد می‌شود. علاوه‌براین، توپوگرافی سطحی بر دامنه و بسامد حرکات زمین به‌طور قابل توجهی اثر می‌گذارد.

## ۲ روش‌های محاسبه بسامد طبیعی ساختگاه با استفاده

### از مایکروترمورها

اکثر اثرات ساختگاه که ناشی از لرزش زمین هستند وابسته به بسامدند. به همین جهت لازم است که در استفاده از آنها به این مسئله توجه شود. بزرگ‌ترین مشکلات در سر راه برآورد پاسخ ساختگاه، جداسازی اثرات منبع و مسیر از داده‌های دستگاهی است. روش‌های گوناگونی در راستای این هدف عرضه شده است که می‌توان آنها را به دو دسته کلی وابسته به ساختگاه مرجع و مستقل از ساختگاه مرجع تقسیم کرد. روش وابسته به ساختگاه مرجع را نسبت طیفی استاندارد

از میان همه روش‌های ژئوفیزیکی، روش‌هایی وجود دارد که از "پدیده‌های طبیعی"، "سیگنال طبیعی" یا "میدان طبیعی" استفاده می‌کنند. برای مثال روش گرانی‌سنجی، روش مغناطیس‌سنجی، روش مگنتوتلوریک در روش‌های الکترومغناطیسی و روش پتانسیل خودزا (SP) در روش‌های الکتریکی و اندازه‌گیری‌های رادیومتریک؛ اینها با عنوان "روش‌های میدان طبیعی" شناخته شده‌اند. این روش‌های پی‌جویی، روش‌هایی برای شناخت ساختار زمین‌شناسی با اندازه‌گیری یک پارامتر فیزیکی هستند. درواقع این روش‌ها، روش‌های مقدماتی برای پی‌جویی‌های جزئی‌تر و دقیق‌تر مانند پی‌جویی‌های لرزه‌ای بازتابی و شکستی هستند.

نوسان‌ها (لرزش‌ها) با دامنه کم و ضعیف که در همه جا وجود دارند و ممکن است در سطح زمین ثبت شوند، عموماً ریزلرزه‌ها یا مایکروترمورها نامیده می‌شوند. چندین طرح در اواسط قرن بیستم، انواع موج‌هایی را که مایکروترمورها را تشکیل می‌دهند و ارتباط بین مایکروترمورها و ساختار زیر سطحی را به ثبت رساندند. از میان آنها آکی (۱۹۵۷) و توکسوز (۱۹۶۴) یک کاربرد مایکروترمورها را برای برآورد ساختار زیر سطحی پیشنهاد کردند.

امروزه استفاده از مایکروترمورها برای تعیین مشخصات ساختگاه از جمله دوره غالب و ضریب تقویت به خاطر هزینه کم و سهولت در برداشت اطلاعات به میزان زیادی رواج یافته و محققان بسیاری روی این مسئله بررسی‌های زیادی به انجام رسانده‌اند (هاشمی و همکاران،

به صورت زیر تعریف کردند:

$$E_S = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (2)$$

که  $S_{VS}$  طیف فوریه حرکات عمودی در سطح و  $S_{VB}$  طیف فوریه حرکات عمودی در روی سنگ بستر هستند. برای جبران اثر چشمه ( $E_S$ ) لرمو و چاوز گارسیا (۱۹۹۳) یک تابع اثر ساختگاه معرفی کرد:

$$S_{TT} = \frac{S_T}{E_S} = \frac{\frac{S_{HS}}{S_{HB}}}{\frac{S_{VS}}{S_{VB}}} \quad (2)$$

ناکامورا فرض کرد که:

$$\frac{S_{HB}}{S_{VS}} \cong 1 \quad (3)$$

بنابراین تابع اثر ساختگاه در رابطه (۲) به این صورت به دست می آید:

$$S_{TT} = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (4)$$

که این رابطه بیانگر همان نسبت  $H/V$  در روی ساختگاه مورد بررسی است.

هریک از این روش‌ها به گونه‌ای طبیعت میکروترمورها را بیان می‌کنند و در مواردی مفید بودشان به اثبات رسیده است. وجه مشترک بین این روش‌ها آن است که در همه آنها فرض بر این است که خاک به صورت یک لایه روی یک نیم‌فضای نیمه بی‌نهایت کشسان قرار دارد.

### ۳ روند کار

در این تحقیق داده‌های میکروترمورها مربوط به منطقه کامیاران، واقع در طول جغرافیایی  $34/793$  درجه و عرض جغرافیایی  $46/936$  درجه، در نرم‌افزار مت‌لب پردازش شده است. این داده‌ها از ۱۰ ایستگاه برداشت شد. مراحل پردازش داده‌های میکروترمورها به این ترتیب صورت

SSR (Standard Spectral Ratio) می‌نامند. این روش برای ثبت‌های میکروترمورها از سوی بورچرت (۱۹۷۰) معرفی شده همان تقسیم طیف دامنه میکروترمورها از اندازه‌گیری شده در محل موردنظر به طیف دامنه میکروترمورها از اندازه‌گیری شده در یک محل مبنا است. اندازه‌گیری‌ها برای هر دو محل به صورت هم‌زمان و یا با فواصل زمانی کوتاه صورت می‌گیرد (محل مبنا معمولاً رخنمونی از رسوبات تحکیم یافته و یا سنگ کف است). روش دیگر که مستقل از ساختگاه مرجع است و روش نسبت طیفی مولفه افقی به قائم ( $H/V$ ) نام دارد؛ در این روش داده‌ها به صورت تک‌ایستگاهی برداشت می‌شوند. ناکامورا (۱۹۸۹) برای حذف اثرات منبع در نتایج به دست آمده از طیف میکروترمورها روشی را معرفی کرد که همان روش نسبت طیفی مولفه افقی به قائم است. نسبت طیفی  $H/V$  بیانگر میزان تاثیر لایه‌های رسوبی بر امواج زمین‌لرزه است. از لحاظ نظری امواج قائم (مولفه قائم لرزه‌نگاشت) تحت تاثیر مشخصات رسوبی قرار نمی‌گیرد. این امواج افقی هستند و پس از عبور از لایه‌های خاک دچار تشدید یا کاهش دامنه می‌شوند. در نتیجه نسبت طیفی امواج افقی به امواج قائم به دست آمده پس از عبور از لایه‌های خاک، بیانگر نحوه و میزان تاثیر لایه‌های خاک روی امواج زمین‌لرزه است (غلامی، ۱۳۸۷).

در روش نسبت طیفی استاندارد نیاز به یک ساختگاه مرجع سنگی است و تابع اثر ساختگاه در این روش به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$S_T = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (1)$$

که در این رابطه  $S_{HS}$  طیف فوریه مولفه افقی حرکت زمین روی ساختگاه موردنظر و  $S_{HB}$  طیف فوریه مولفه افقی حرکت زمین روی ساختگاه مرجع است.

ناکامورا (۱۹۸۹) و لرمو و چاوز گارسیا (۱۹۹۳)، برای برآورد اثر دامنه مربوط به منبع، نسبت طیفی  $E_S$  را

پذیرفت:

۱- تغییر فرمت از SSR1 به Ascii

۲- بررسی داده و تعیین مناطق آرام و چموش بروی آن

۲- اعمال فیلتر باترورث به منظور حذف داده‌های مایکروترمور ناخواسته. این فیلتر در حقیقت دو فرکانس شروع و پایان را با دو شیب دامنه ای متفاوت در هر سو ایجاد می کند.

۲- انتخاب پنجره‌های زمانی به طول ۳۳ ثانیه به داده‌های مایکروترمور با هم‌پوشانی ۳۲ درصد (برای جلوگیری از پدیده گیس و تغییرات محتوای بسامدی) و از نوع Hamming. در انتخاب زمان پنجره از روش‌های تطبیقی استفاده می شود و پنل‌های تست ساخته

شده است.

۳- تبدیل فوریه و هموار کردن پنجره‌های زمانی

۴- برآورد نسبت طیفی هر یک از پنجره‌ها با روش spectrogram متغیر با زمان

۵- میانگین‌گیری از نسبت‌های طیفی به دست آمده

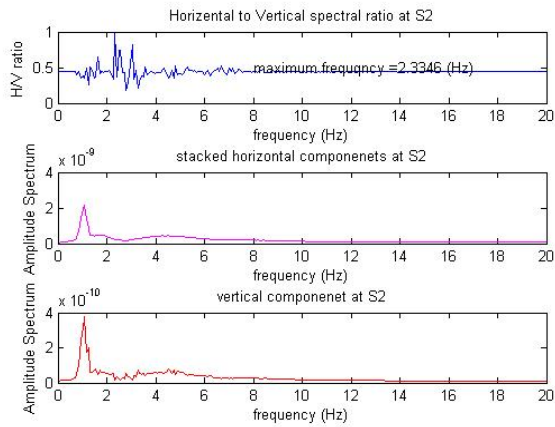
۶- تحلیل بسامد غالب و نسبت طیفی

پس از پردازش داده‌ها به دو روش H/V و SSR

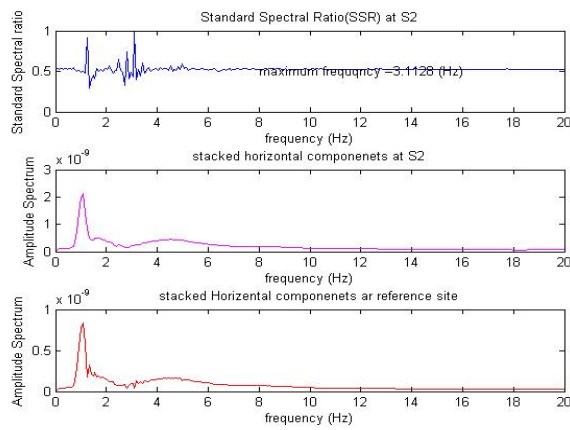
طی مراحل فوق، نتایج طبق جدول ۱ به دست آمد. نمونه‌ای از شکل نتایج به دست آمده برای هر یک از روش‌ها برای یکی از ایستگاه‌ها در شکل‌های ۱ و ۲ آورده شده است. در شکل ۳، موقعیت ایستگاه‌ها و بسامد غالب در هر یک از آنها نشان داده شده است.

جدول ۱. نتایج به دست آمده از دو روش H/V و SSR.

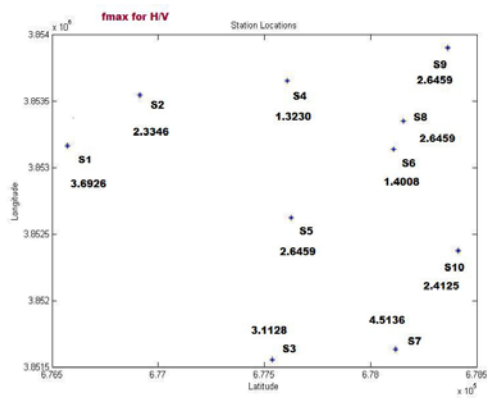
ایستگاه	جنس نقطه برداشت	فاصله از ایستگاه مرجع (متر)	بسامد غالب (هرتز) H/V	بسامد غالب (هرتز) SSR
S1	رُس	۲۱۷۶	۳/۶	۲/۸
S2	رُس	۲۲۶۱	۲/۳	۳/۱
S3	رُس	۵۸۳	۳/۱	۳/۱
S4	رُس	۱۱۰۷	۱/۳	۳/۱
S5	رُس	۲۰۸۸	۲/۶	۳/۲
S6	شن و ماسه	۱۵۰۹	۱/۴	۲/۸
S7	سیمان	۰	۴/۵	ایستگاه مرجع
S8	شن و ماسه	۱۷۲۲	۲/۶	۲/۴
S9	شن و ماسه	۷۹۸	۲/۶	۲/۸
S10	شن و ماسه	۱۵۵۲	۲/۴	۱/۲



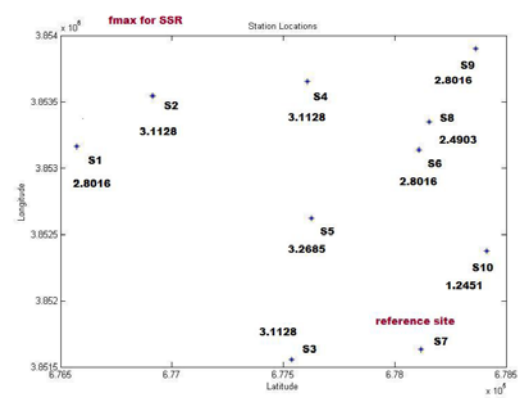
شکل ۱. مقطع خروجی حاصل از روش H/V در ایستگاه دوم (نمودار اول: نسبت طیفی مولفه افقی به قائم، نمودار دوم: طیف دامنه میانگین مولفه‌های افقی در ایستگاه دوم، نمودار سوم: طیف دامنه مولفه عمودی در ایستگاه دوم).



شکل ۲. مقطع خروجی حاصل از روش SSR در ایستگاه دوم (نمودار اول: نسبت طیفی استاندارد به دست آمده در ایستگاه دوم، نمودار دوم: طیف دامنه میانگین مولفه‌های افقی در ایستگاه دوم، نمودار سوم: طیف دامنه میانگین مولفه‌های افقی در ایستگاه مرجع).



شکل ۴. موقعیت ایستگاه‌ها با مقادیر fmax در روش H/V.



شکل ۳. موقعیت ایستگاه‌ها با مقادیر fmax در روش SSR.

## ۴ بحث

۲- با توجه به جدول ۱ و شکل ۴، در جاهایی که فاصله ایستگاه‌ها از ساختگاه مرجع مناسب باشد، مانند ایستگاه‌های سوم و نهم که در آنها نتایج حاصل از روش نسبت طیفی استاندارد با روش نسبت طیفی مولفه افقی به قائم تطابق دارد، می‌توان از روش نسبت طیفی استاندارد استفاده کرد، بنابراین فاصله از ایستگاه مرجع (نزدیکی به ایستگاه مرجع) یکی از پارامترهای اساسی در استفاده از روش نسبت طیفی استاندارد است.

۳- حضور رس باعث افزایش حساسیت دور بودن ایستگاه از ایستگاه مرجع می‌شود. به این خاطر روش H/V که در آن در اختیار داشتن دو ایستگاه الزامی نیست در مناطق با حضور رس و آب زیر سطحی بالا توصیه می‌شود.

۴- گرچه روش SSR چندان کارآمد نیست، اما با توجه به جدول ۱، می‌توان از آن برای واسنجی کردن روش H/V استفاده کرد.

۵- در منطقه مورد بررسی و در شکل ۳ و ۴، با حرکت از سمت راست به چپ، بسامد غالب در روش SSR به واقعیت نزدیک‌تر است.

۶- مشکل خاص روش SSR، انتخاب ساختگاه مرجع مناسب در یک بیرون‌زدگی سالم از سنگ‌بستر، و عاری از اثرات توپوگرافیکی است. در نتیجه، این روش را همیشه نمی‌توان به کار برد.

## تشکر و قدردانی

نویسندگان بر خود می‌دانند تا از داوران محترم که زحمت مطالعه متن مقاله و ارائه پیشنهادات را تقبل کردند، تشکر نمایند. زحمات بی‌وقفه همکاران دفتر مجله فیزیک زمین و فضا، در پیگیری‌های مستمرشان شایسته تقدیر است.

این تحقیق در قالب طرح پژوهشی شماره ۲۸۴۴۹/۱/۰۱ با استفاده از اعتبارات پژوهشی دانشگاه تهران انجام شده است.

همانطور که در شکل‌های ۱ و ۲ دیده می‌شود، بیشینه دامنه به‌هنگار شده برای یک ایستگاه مشخص با دو روش SSR و H/V آورده شده است. فرکانس غالب شیفی در حدود کمتر از یک هرتز را نشان می‌دهد. این نکته که در هر دو شکل محدوده فرکانسی یکسانی به دست آمده، موید این موضوع است که در غیاب لاگ‌های چاه (مطالعات مستقیم) استفاده از دو روش تحلیلی برای داده مایکروترمور و کسب نتایج در حدود هم معیار واسنجی مناسبی می‌باشد.

آنچه از جدول ۱ حاصل می‌شود، کمترین جذب فرکانسی در محدوده سنگ بستر تا سطح زمین برای ایستگاه مرجع (S7) که بروی سیمان قرار گرفته می‌باشد. در ایستگاه‌های دیگر فرکانس‌ها پایین‌تر می‌باشد. مشاهده می‌شود که در ایستگاه‌های قرار گرفته بروی خاک رس به طور عمده حساسیت روش SSR به دور شدن از ایستگاه مرجع افزایش می‌یابد، حال آنکه برای ایستگاه‌های قرار گرفته در روی شن و ماسه این حساسیت کمتر است. با توجه به بالا بودن سطح آب، این مساله را می‌توان به خاصیت جذب آب در رس نسبت داد.

## ۵ نتیجه‌گیری

با اجرای محاسبات پاسخ ساختگاه روی داده‌های مایکروترمور موجود، روش‌های H/V و SSR بررسی شد و نتایج به این صورت به دست آمد:

۱- در تعیین اثر ساختگاه در منطقه مورد بررسی، روش H/V در مقایسه با روش SSR، نتایج دقیق‌تر و قابل اطمینان‌تری می‌دهد، چرا که در روش H/V از هر دو مولفه افقی و عمودی جبهه موج در یافتن بسامد غالب استفاده می‌شود و نتایج حاصل از آن با گزارش‌های زمین‌شناسی موجود تطابق خوبی دارد.

## منابع

- غلامی، و.، ۱۳۸۷، تعیین بسامد طبیعی نوسان خاک در محدوده معدن مس سرچشمه با استفاده از نگاشت‌های مایکروترمور، مجله فیزیک زمین و فضا، ۱، ۱-۱۳.
- Aki, K., 1957, Space and time spectra of stationary stochastic wave with special reference to microtremors, Bulletin of Earthquake Research Institute, University of Tokyo, **35**, 415-457.
- Borcherdt, R. D., 1970, Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay, Bull. Seismol. Soc. Am., **60**, 29-61.
- Borcherdt, R. D. and Gibbs, J. F., 1976, Effects of local geological conditions in the San Francisco Bay region on ground motions and the intensities of the 1906 earthquake, Bull. Seismol. Soc. Am., **66**, 467-500.
- Chavez- Garcia, F. J., Pedotti, G., Hadtzfeld, D. and Bard, P. Y., 1990, An experimental study of site effects near Thessaloniki (Northern Greece), Bull. Seismol. Soc. Am., **80**, 784-806.
- Hashemi, H., Eskandar Pour, M. R., Adib, D. R. and Fatemi Aghda, D. R., 2007, A case study of microtremor analysis in Baneh city for the purpose of seismic hazard estimation, EAGE 69th Conference & Exhibition.
- Lachet, C. and Bard, P. Y., 1994, Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitations of Nakamura's technique, J. Phys. Earth, **42**, 377-397.
- Lermo, J. and Chavez-Garcia, F. G., 1993, Site effect evaluation using spectral ratios with only one station, Bul. Seismol. Soc. Am., **83**, 1574-1594.
- Lermo, J. and Chavez-Grcia, F. J., 1994, Are microtremors useful in site response evaluation?, Bull. Seismol. Soc. Am. **84**, 1350-1364.
- Toksoz, M. N., 1964, Microseisms and an attempted application to exploration, Geophysics, **39**, 154-177.