

مطالعه اثر ساختگاه در جنوب باختری تهران با استفاده از

اندازه‌گیری میکروترمور

نوشته: لاله مهرآئین* و دکتر محمد تاتار**

Site Effect Study in the Southwest of Tehran Using Microtremor Measurements

By: L. Mehraein* & Dr. M. Tatar**

چکیده

امروزه استفاده از اندازه‌گیریهای ارتعاشات محیطی (میکروترمور) در مطالعات تعیین اثر ساختگاه و ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای رواج فراوانی یافته است. اندازه‌گیریهای میکروترمور به دلیل سهولت اندازه‌گیری، صرفه اقتصادی و قابلیت اندازه‌گیری در نواحی وسیع، ابزاری مناسب برای تعیین اثر ساختگاه به شمار می‌رود. در این تحقیق، اثر ساختگاه بر پایه تحلیل ارتعاشات محیطی ثبت شده در ۴۰ نقطه مختلف از جنوب باختر تهران مورد بررسی و مطالعه قرار می‌گیرد. در این راستا، نه تنها روشهای مختلف موجود در تعیین اثرات ساختگاهی مورد بررسی قرار گرفت، بلکه سعی شد تا روشهای شناخته شده رایج در روش نسبت طیفی H/V بر روی داده‌های برداشت شده اعمال و نتیجه مربوطه تحلیل شود. به طور کلی، نتیجه تحلیل بیش از ۴۸۰ پنجره زمانی ۲۰ ثانیه‌ای مربوط به برداشت‌های مختلف در ایستگاههای فوق نشان داد که رفتار آبرفت در نقاط مختلف جنوب باختر تهران متفاوت است. نقشه منحنیهای هم بسامد تشدید رسم شده، نشان می‌دهند که این بسامد در مناطق جنوب باختر و باختر - شمال باختر منطقه مورد مطالعه، دارای تغییرات نسبتاً تند بوده در حالی که در خاور و بخشهای مرکزی تغییرات ملایم‌تری با بسامد تشدید کمتر از ۲ هرتز را شاهد هستیم. به طور کلی نتیجه بررسیهای به عمل آمده، نشان می‌دهد که بسامد تشدید بین ۲/۵-۱/۵ هرتز در بخشهای خاوری و میانی منطقه مورد مطالعه تا ۴/۵-۳/۵ هرتز در بخشهای جنوب باختری و باختر - شمال باختر در تغییر است. برآورد اولیه ضریب تقویت نسبی آبرفت در ساختگاههای مختلف نشان می‌دهد که این ضریب بزرگنمایی در بخشهایی از منطقه مورد مطالعه تا حدود (± 2) ۶ نیز می‌رسد.

کلیدواژه‌ها: میکروترمور، ریزپهنه‌بندی، بسامد غالب، روش ناکامورا، اثر ساختگاه

Abstract

Microtremor measurement, as one of the well known methods in site effect study and seismic microzonation, is a very convenient, simple, and economic tool to estimate the effect of surface geology on seismic motion. H/V (Nakamura's technique) has received great attention from all over the world with its simplicity together with quick information about dynamic characteristics of ground and structures. In this study, the Nakamura's technique has been used to estimate fundamental frequencies and amplification factors of 40 sites in the southwest of Tehran. Different techniques in Nakamura's method are applied on more than 480 time windows of microtremor measurements. The results at different sites indicate that the variation of resonance (fundamental) frequencies is fast in the SW and W-NW of the study region, whereas in the central and eastern parts this variation is slow. Essentially, the resonance frequencies differ from 1.5-2.5 Hz in eastern and central parts to 3.5-4.5 Hz in SW and W-NW. The estimated amplification factors indicate that the alluvial deposits in the SW of Tehran can amplify the magnitude of earthquakes up to 6 (+/-2) at resonance frequency.

Keywords: Microtremor, Seismic Microzonation, Fundamental frequency, site effects, Nakamura's Technique

مقدمه

زلزله‌خیز جهان است و تاکنون شاهد زمین لرزه‌های بسیار بزرگ و مخربی بوده که هر از چند سال روی می‌دهند. از سوی دیگر، جمعیت رو به رشد

زمین لرزه یکی از مخرب‌ترین بلایای طبیعی است که همواره جوامع انسانی را از لحاظ مالی و جانی تهدید می‌کند. ایران یکی از کشورهای

پدیده‌های فوق و کاهش خسارت‌های ناشی از اثرات ساختگاهی، تهیه نقشه‌های ریزپهنه‌بندی (Microzonation) لرزه‌ای است. این نقشه‌ها اصولاً برای بررسی شرایط ساختگاهی در یک منطقه وسیع، مانند گستره یک شهر یا مناطق مورد نظر برای شهرسازی بسیار کاربردی می‌باشند.

از روش‌های ساده و مؤثر در انجام مطالعات اثرات ساختگاهی و ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای می‌توان اندازه‌گیری ارتعاشات محیطی در نقاط مختلف ناحیه مورد مطالعه را نام برد. میکروترومورها امواج خفیفی هستند که ضمن عبور از درون لایه‌های خاک، تحت تأثیر ویژگی‌های دینامیکی آن قرار می‌گیرند. یکی از فرض‌های اساسی در استفاده از میکروترومورها برای تخمین اثر ساختگاه، این است که امواج برخوردی با لایه‌های زمین، به هنگام ثبت در گیرنده‌های سطحی، حاوی مشخصات لایه‌های خاکی هستند که از آن عبور کرده‌اند.

مطالعات زیادی برای تخمین پاسخ ساختگاه با استفاده از میکروترومورها صورت گرفته که از آن جمله می‌توان به تحقیقات (Kagami & Okada, 1986)، (Singh, 1992)، (Lermo, Chavez Garsia & Bard, 1990)، (Jacob, 1990)، (Yamanaka, Yamazaki & Katayama, 1992)، (1993)، و (Ghayemghamian & Kawakami, 1997) اشاره کرد که نتایج مناسبی را به دست آورده‌اند.

امروزه برای تحلیل میکروترومورها از روش‌های مختلفی استفاده می‌شود که مهم‌ترین آنها عبارتند از:

الف) محاسبه نسبت طیفی داده‌های ثبت شده بر روی رسوبات نسبت به یک ایستگاه مرجع واقع بر روی سنگ بستر.

ب) محاسبه نسبت طیفی مؤلفه افقی به قائم در محل اندازه‌گیری. در روش اول از تحلیل داده‌های حرکت قوی و ضعیف زمین استفاده می‌شود. محدودیت این روش در عدم پیدا کردن سنگ بستر مناسب برای نصب ایستگاه مرجع در مناطق شهری است.

روش استفاده از نسبت طیفی مؤلفه افقی به قائم (H/V) که در آن نیازی به وجود ایستگاه مرجع نیست، اولین بار توسط (Nogoshi & Igarashi, 1971) ارائه شد و سپس توسط (Nakamura, 1989)

برای تعیین اثرات ساختگاه عمومیت بیشتری یافت. نتایج خوب این روش در بسیاری از پروژه‌ها ثابت کرد که این روش می‌تواند به طور مناسب برای تعیین پررود غالب و همچنین تعیین ضریب تقویت خاک به کار برده شود.

آنچه در این تحقیق به عنوان هدف در نظر گرفته می‌شود در مرحله اول تعیین پررود غالب خاک در جنوب باختری تهران است. زمانی که پررود طبیعی یک سازه با پررود طبیعی ساختگاه برابر می‌شود، پدیده تشدید صورت می‌گیرد که باعث خسارت زیاد و یا تخریب سازه می‌شود. در

و احداث ساختمانهای مرتفع، خسارت‌های ناشی از این زمین لرزه‌های بزرگ را بویژه در شهرهای بزرگی مانند تهران افزایش می‌دهد. یکی از مسائل مهم در ارتباط با تخریب ساختمانها، رفتار قشر خاک روی سنگ بستر به هنگام وقوع زمین لرزه است. با توجه به اینکه ایران از نظر تنوع قشر خاک روی سنگ بستر، دارای مدل‌های بسیاری است، لذا تعیین اثرات خاک و یا به عبارتی تعیین پررود طبیعی و اثر تشدید خاک در زیر ساختگاه از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

از جمله عوامل مهم در افزایش خسارت‌های ناشی از زمین لرزه می‌توان به پدیده‌های ژئوتکنیکی مانند لغزش، روانگرایی، خاک، بزرگنمایی و تشدید امواج به هنگام عبور از لایه‌های سطحی اشاره کرد که هر یک در شرایط خاص زمین‌شناسی و ژئوتکنیکی رخ می‌دهند. مطالعات نشان داده است که خسارتها بیشتر در محل‌هایی دیده می‌شود که امواج زمین لرزه به علت شرایط ویژه خاک تقویت شده‌اند. ساختگاه (Site) افزون بر تشدید امواج می‌تواند سبب افزایش طول مدت لرزش و تغییر محتوای بسامدی آن شود. از دیگر عوامل مهم در میزان خسارت ناشی از زمین لرزه، پررود غالب و ضریب بزرگنمایی ساختگاه است. پررود غالب ساختگاه معمولاً پررود معادل با بالاترین نقطه اوج روی طیف شتاب در نظر گرفته می‌شود و از نظر فیزیکی علت اصلی پدیده بزرگنمایی شدت زمین لرزه‌ها در رسوبات نرم، گیر افتادن امواج لرزه‌ای در حد فاصل بین رسوبات و سنگ بستر زیرین می‌باشد.

از عوامل مؤثر بر رفتار ساختگاه می‌توان اثر خمیری خاک، جنس و ضخامت خاک، نقش لایه‌های سطحی نرم و توپوگرافی سطحی را نام برد. اثرات ساختگاهی ناشی از وجود رسوبات نرم، گاه می‌توانند موجب تشدید لرزش زمین و به دنبال آن افزایش شدتی در حد ۲ تا ۳ درجه از مقیاس مرکالی شوند. بررسی‌ها نشان می‌دهند که خاکهایی با حالت خمیری بالاتر، رفتار تنش و کرنش پررودیک خطی بیشتری نسبت به خاکهای با حالت خمیری کمتر دارند. به ازای یک مقدار مشخص از شتاب، سازه‌های احداث شده بر روی آبرفتهای سست یا آبرفتهای با ضخامت زیاد، بیشتر از سازه‌های احداث شده بر روی سنگ بستر تحت تأثیر نیروهای لرزه‌ای قرار می‌گیرند. افزایش ضخامت خاک، ابتدا موجب افزایش ناگهانی بیشینه شتاب سطحی می‌شود به گونه‌ای که در حالت تشدید به بیشترین حد خود می‌رسد و پس از آن افزایش بیشتر ضخامت موجب کاهش آرام بیشینه شتاب سطحی می‌شود. این در حالی است که افزایش ضخامت ستون خاک، موجب افزایش پررود طبیعی خاک می‌شود. در خصوص نقش توپوگرافی در اثرات ساختگاهی به طور کلی ساختمانهایی که در بالای تپه قرار دارند، بیشترین تخریب را نسبت به نقاطی که در سطح هستند، متحمل می‌شوند. یکی از روش‌های مهم و کاربردی به منظور دوری یا مقابله با

در این روش، معمولاً اثر چشمه و اثر مسیر بین چشمه و دستگاه لرزه‌نگاری، به کمک عملیات واهمامیختگی (Diconvolution) حذف می‌شود. چون در این روش از یک ساختگاه مرجع استفاده می‌شود به آن روش RSM (Reference Site Method) نیز می‌گویند.

در این روش فرض بر این است که مؤلفه قائم حرکت زمین تحت تأثیر ساختار محلی قرار نمی‌گیرد، در حالی که مؤلفه افقی به دلیل لایه‌بندی زمین‌شناسی دارای امواج تبدیلی از P به Sv بوده و لذا به کمک آن، ساختار پوسته و حتی پاسخ ساختگاه را می‌توان برآورد کرد. بنابراین با واهمامیخت مؤلفه قائم از مؤلفه افقی، یک برآورد از تابع پاسخ جنبشی یا تابع انتقال گیرنده زیر ساختگاه به دست می‌آید.

روش تابع انتقال گیرنده یکی از روشهای بسیار قوی و شناخته شده برای تعیین ساختار سرعتی پوسته از روی نگاشتهای زمین لرزه است که نخستین بار توسط Longstone (1979) ارائه شد.

روش تابع انتقال گیرنده در مطالعه پاسخ ساختگاه اساساً برنسبت طیفی بین مؤلفه‌های افقی و قائم امواج برشی زمین لرزه‌های ضعیف ثبت شده استوار است. این روش در واقع ترکیبی از روش تابع گیرنده Longstone (1979) برای تعیین سرعت ساختار پوسته با استفاده از نسبت طیفی زمین لرزه‌های دور و روش پیشنهادی (Nakamura, 1989) برای استفاده از این نسبت برای ارتعاشات مزاحم ثبت شده است. اما شاید رایج‌ترین روش مورد استفاده در تحلیل ارتعاشات محیطی به منظور تعیین پریود طبیعی خاک نسبت طیفی (H/V) باشد که در ادامه با تفصیل بیشتری مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

در اوایل دهه هفتاد چند دانشمند ژاپنی نسبت H/V، یعنی نسبت بین طیف فوریه مؤلفه افقی به قائم از ارتعاشات محیطی (میکروترمورها یا نوفه زمینه) را معرفی کردند. (Nakamura, 1989; Nogoshi & Igarashi, 1971) ناکامورا این نسبت را بیشتر استوار بر پردازش طیف نوفه دانست. در ساختگاههای واقع بر خاک نرم، منحنیهای نسبت طیفی محاسبه شده، برآمدگی واضحی را که همخوانی خوبی با بسامد پایه‌ای تشدید دارد، نشان می‌دهند. مشاهدات فوق با چندین تحقیق نظری نیز به اثبات رسیده‌اند.

مطالعات به عمل آمده بر روی روش نسبت طیفی نشان دادند که این روش، روش بسیار ساده‌ای برای برآورد بسامد غالب تشدید است، ولی در عمل، برای بسامدهای بالاتر خوب جواب نمی‌دهد و دامنه بیشینه برای آنها تا حدی متفاوت از بزرگنمایی مشاهده شده در نسبت طیفی است. در مجموع روش نسبت طیفی H/V افزون بر تعیین پریود غالب ساختگاه،

مرحله بعدی سعی خواهد شد تا با مقایسه میزان ضریب تقویت یا بزرگنمایی ساختگاه در ایستگاههای مختلف، برآوردی از میزان تقویت آبرفت به هنگام رخداد زمین لرزه به عمل آید.

روشهای مورد استفاده در مطالعه اثر ساختگاه و تعیین پریود طبیعی آبرفت

روشهای مختلفی برای محاسبه اثرات ساختگاه وجود دارد. بعضی از این روشها به سرعت قابل انجام بوده و به ویژگیهای دینامیکی خاک نیاز ندارد. در مقابل در بعضی روشها، اثرات ساختگاه با انجام محاسبات پیچیده بر روی پارامترهای به دست آمده از خاک مورد مطالعه تعیین می‌شوند. عموماً این روشها بسته به نحوه پردازش، به دو دسته اصلی تقسیم می‌شوند، دسته اول روشهایی هستند که به صورت نظری و با استفاده از فرمولهای ریاضی اثرات ساختگاه را مطالعه می‌کنند که غالباً به اطلاعات گمانه‌ای و خصوصیات دینامیکی ساختگاه نیاز دارند. دسته دوم روشهای عملیاتی می‌باشند که با اندازه‌گیری ارتعاشات محیطی و یا زمین لرزه‌های خفیف و تحلیل طیفهای مربوطه به بررسی اثر ساختگاه می‌پردازند.

در خصوص روشهای عددی (Numerical Methods) در صورتی که خصوصیات ژئوتکنیکی ساختگاه شناخته شده باشند، اثرات ساختگاه می‌تواند به کمک تحلیل‌های عددی برآورد شود. شناخت کافی از ویژگیهای ژئوتکنیکی عموماً مستلزم این است که تحلیل‌های پاسخ زمین از ساختگاهی به ساختگاه دیگر انجام گرفته باشد. چگالی گمانه‌ها و اطلاعات ژئوتکنیکی در بعضی شهرهای بزرگ شاید به قدر کافی وجود داشته باشد تا اجازه یک پهنه‌بندی بر اساس تحلیل‌های عددی را فراهم کند. از معروف‌ترین روشهای عملیاتی می‌توان به روشهای نسبت طیفی کلاسیک یا استاندارد، تابع انتقال گیرنده و نسبت طیفی ساده (H/V) اشاره داشت.

روش نسبت طیفی کلاسیک، برای نخستین بار به وسیله Brocherdt (1970) شرح داده شد، که هنوز هم استفاده گسترده‌ای دارد. براساس این روش و برای شبکه‌ای از I ساختگاه با J رویداد ثبت شده، دامنه طیف حرکت زمین Rij(f) در ساختگاه i در حین رخداد J می‌تواند به شکل زیر نوشته شود:

$$Rij(f) = Ej(f) * Pij(f) * Si(f) \quad (1)$$

که در آن Ej(f) اثر تابع چشمه، Pij(f) مسیر مشترک بین چشمه و محل ساختگاه و Si(f) اثر ساختگاه می‌باشند.

اگر معادله را به صورت لگاریتمی درآوریم، معادله خطی ساده زیر به دست می‌آید:

$$\ln[Rij(f)] = \ln[Ej(f)] + \ln[Pij(f)] + \ln[Si(f)] \quad (2)$$

طیف مؤلفه افقی به قائم امواج ریلی است یعنی $QTS = H_s / V_s$. در این حالت، پایین‌ترین پیک بسامدی H_s / V_s تقریباً معادل پایین‌ترین بسامد F_0 از دامنه بزرگنمایی، افقی می‌باشد. در محدوده F_0 و $A_v = 1$ ، مقدار QTS پیک پایداری را در بسامد F_0 نشان می‌دهد. حتی در مواقعی که اثر امواج ریلی زیاد است، مقدار V_s در اطراف بسامد اصلی مرتبه اول ناشی از بازتابهای چندگانه حرکات افقی، کوچک می‌شود. اگر ارتعاشات محیطی سنگ بستر V_b به قدری بزرگ باشند که با امواج ریلی مقایسه شوند، مقدار $QTS = A_h$ خواهد بود. به طور خلاصه می‌توان چنین بیان کرد که نسبت طیفی افقی به قائم یعنی $QTS = H_f / V_f$ ، نمایانگر بسامد غالب مرتبه اول ناشی از بازتابهای چندگانه موج S_H در لایه‌های سطحی زمین و ضریب بزرگنمایی مربوطه، صرفنظر از درجه تأثیر امواج ریلی است.

روش ناکامورا (نسبت طیفی H/V) بسته به نوع روش استفاده شده در محاسبه نسبت طیفی به چند روش تقسیم می‌شود که عبارتند از:

- روش طیفی ساده (Fourier Spectrum)، روش طیف توان (Power Spectrum) و روش طیف ضرب قطعه‌های (Segmental Cross Spectrum). تفاوت روشهای فوق در نحوه محاسبه طیف پنجره‌های زمانی از ارتعاشات محیطی است. به گونه‌ای که در روش اول طیف فوریه مؤلفه‌های افقی و قائم یک پنجره زمانی خاص از یک برداشت سه مؤلفه‌ای مد نظر قرار می‌گیرد. در حالی که در روش دوم به جای تبدیل فوریه، نسبت طیف توان مؤلفه‌های افقی به قائم در نظر گرفته می‌شود. در روش سوم نیز برای دو پنجره مختلف از یک برداشت، ابتدا حاصل همبستگی متقابل (Cross Correlation) مؤلفه افقی و قائم دو پنجره محاسبه و سپس نسبت طیفی موجود محاسبه می‌شود.

اندازه گیری ارتعاشات محیطی در جنوب باختر تهران

پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله همزمان با انجام مطالعات پهنه‌بندی لرزه‌ای جنوب باختر تهران به کمک اندازه‌گیریهای ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی آبرفت‌های این منطقه، مطالعه اثرات ساختگاه براساس اندازه‌گیری ارتعاشات محیطی یا میکروترمورها را نیز انجام داد. در این مطالعات، در ۴۰ نقطه از جنوب باختر تهران اندازه‌گیری میکروترمورها صورت گرفت. در هر نقطه، حداقل ۳ و حداکثر ۴ برداشت ۲ دقیقه‌ای به عمل آمد. موقعیت این نقاط در جدول ۱ و شکل ۲ آورده شده است.

برای ثبت داده‌های میکروترموور از دستگاه لرزه‌نگار SSR-1 مجهز به ۳ لرزه سنخ کوتاه دوره SS-1 استفاده شده است. ارتعاشات محیطی در هر ایستگاه به صورت ۴ برداشت ۲ تا ۴ دقیقه‌ای به فواصل زمانی یک ساعته ثبت شده‌اند. فاصله نمونه‌برداری در نگاشتها ۱۰ میلی ثانیه انتخاب شده

می‌تواند برآورد مناسبی از ضریب تقویت آبرفت در نقاط مختلف بویژه برای بسامدهای پایین‌تر را ارائه کند که در چنین مطالعاتی بسیار مفید و سودمند خواهد بود.

به منظور درک بهتر مفاهیم روش نسبت طیفی (روش ناکامورا) و چگونگی رسیدن به روابط ساده نسبت H/V ، سعی خواهد شد تا به بررسی طیفی ارتعاشات ثبت شده بر روی سنگ بستر در سطح، سنگ بستر در کف رسوبات و بر روی رسوبات در سطح زمین در یک حوضه رسوبی پرداخته شود (شکل ۱). اگر طیف افقی و قائم در سطح زمین با H_f و V_f در نظر گرفته شود روابط زیر را خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} H_f &= A_h * H_b + H_s & (3) \\ V_f &= A_v * V_b + V_s \end{aligned}$$

که در آن A_h و A_v ضرایب بزرگنمایی قائم در حرکات افقی و قائم موج حجمی (Body Waves) H_b و V_b و طیف قائم و افقی روی سنگ بستر H_s و V_s و طیف قائم و افقی امواج ریلی هستند. ضرایب بزرگنمایی حرکت قائم و افقی (T_h و T_v) رسوبات در سطح و حین جنبش زمین به شرح زیر محاسبه می‌شوند:

$$\begin{aligned} T_h &= H_f / H_b & (4) \\ T_v &= V_f / V_b \end{aligned}$$

عموماً سرعت موج P بیش از ۳ تا ۴ برابر سرعت موج برشی است. در چنین شرایطی مؤلفه قائم در محدوده بسامدی که مؤلفه افقی به بیشینه حد بزرگنمایی خود می‌رسد، دچار بزرگنمایی نمی‌شود، یعنی $A_v = 1$ خواهد بود. در صورتی که اثر امواج ریلی در نظر گرفته نشود، $V_b = V_f$ خواهد بود. در مقابل، اگر V_f بزرگ‌تر از V_b باشد، ناشی از تأثیر امواج سطحی است. بنابراین با برآورد اثر امواج ریلی به وسیله V_f / V_b که همان T_v است، بزرگنمایی افقی به صورت زیر نوشته می‌شود:

$$T_h^* = \frac{T_h}{T_v} = \frac{\frac{H_f}{V_f}}{\frac{H_b}{V_b}} = \frac{QTS}{\frac{H_b}{V_b}} = \frac{\left[A_h + \frac{H_s}{H_b} \right]}{\left[A_v + \frac{V_s}{V_b} \right]} & (5)$$

$$QTS = \frac{H_f}{V_f} = \frac{A_h * H_b + H_s}{A_v * V_b + V_s} = \frac{H_b}{V_b} \cdot \frac{\left[A_h + \frac{H_s}{H_b} \right]}{\left[A_v + \frac{V_s}{V_b} \right]} & (6)$$

در معادله اخیر، $1 \approx H_b / V_b$ بوده و لذا H_s / H_b و V_s / V_b وابسته به مجذور انرژی امواج ریلی هستند. اگر از اثر امواج ریلی صرف نظر شود، QTS از نسبت ضریب بزرگنمایی حرکت افقی و قائم امواج حجمی به دست می‌آید (یعنی: $QTS = \frac{A_h}{A_v}$). اگر از امواج ریلی صرف نظر نشود، مرحله دوم معادله نتیجه می‌شود و در این صورت QTS برابر با نسبت

- است که یک بسامد نمونه‌گیری ۱۰۰ نمونه در ثانیه را نتیجه می‌دهد. اندازه‌گیریها در شب و در ساعاتی آرام برداشت شده‌اند.
- جهت پردازش (Resample) اطلاعات از نرم افزار PITSA (Programmable interactive toolbox for seismological analysis) استفاده شده است که ضمن سادگی، قابلیت‌های لازم برای پردازش داده‌ها را دارد.
- به منظور بررسی کارایی و روشهای مختلف موجود در تحلیل امواج میکروترمو ر به روش ناکامورا، سعی شد تا دست کم برای چند ایستگاه به طور نمونه، داده‌ها به سه روش نسبت طیفی ساده (H/V)، روش نسبت طیف توان مؤلفه افقی به طیف توان مؤلفه قائم و روش طیف ضرب قطعه‌ای مورد تحلیل قرار گیرند. سپس با تشخیص دو نسبت طیفی ($\frac{H}{V}$) و طیف توان مؤلفه افقی به قائم به عنوان روشهای برتر، داده‌های ثبت شده در دیگر ایستگاهها به دو روش فوق پردازش شدند.

تحلیل ارتعاشات محیطی برداشت شده :

روش نسبت طیفی ساده (طیف فوریه)

این روش همان طور که قبلا نیز مفصل توضیح داده شد، همان روش پیشنهادی ناکامورا می باشد. در این روش لازم است تا برای پنجره‌های انتخابی یکسان از مؤلفه‌های افقی و قائم، نسبت طیف مؤلفه افقی به قائم محاسبه شود. به منظور تحلیل داده‌های برداشت شده به روش فوق، به ترتیب مراحل زیر اجرا گردید :

- انتخاب ۴ پنجره ۲۰ ثانیه‌ای از نگاشتهای ثبت شده در هر برداشت به گونه‌ای که پنجره‌های انتخابی عاری از چشمه‌های محلی و نوفه‌های گذرا باشند.
- اعمال فیلتر میان گذر ۰/۱ تا ۱۰ هرتز، به منظور حذف نوفه‌های شهری که غالبا دارای بسامدهای بالاتر از ۱۰ هرتز هستند و نیز بسامدهای پایین‌تر از ۰/۱ هرتز که به دلیل بسامد طبیعی گیرنده که ۱ هرتز است، به شدت متأثر از نوفه‌های دستگاهی می‌باشند.
- اعمال پنجره Hanning ۱۰ درصد برای نرم کردن گوشه‌های تیز پنجره‌ها و کاهش اثر پدیده گیبس به هنگام محاسبه طیفهای دامنه.
- محاسبه طیف دامنه هر پنجره برای سه مؤلفه Z,N,E با استفاده از تبدیل فوریه سریع.
- Demultiplex کردن طیفهای دامنه محاسبه‌شده برای امکان انجام پردازشهای دیگر بر روی نگاشتهای در حیطه بسامد.
- انتخاب پنجره‌های ۱۰ - ۰ هرتز و حذف بسامدهای بالاتر که قبلا نیز فیلتر شده‌اند.

- میانگین‌گیری طیف دامنه مؤلفه‌های افقی برای کاهش دامنه نوفه‌های گذرا و تقویت دامنه میکروترمو رها.
- انجام تقسیم طیفی میانگین مؤلفه‌های افقی به مؤلفه قائم (H/V)
- نرم کردن (Smoothing) نسبت طیفی (H/V) به دست آمده به روش میانگین‌گیری متحرک (moving average filter) برای حذف برآمدگیهای تیز و زاویه‌دار. برای بعضی از نسبتهای طیفی لازم بود تا دست کم ۲ تا ۳ بار عمل نرم‌شدگی انجام گیرد. در چنین مواردی در بار اول مقدار نرم‌شدگی ۰/۴ هرتز و دفعات بعد ۰/۳ هرتز اعمال شد.
- تمام مراحل فوق برای تک تک پنجره‌های انتخابی اجرا شد و حاصل نهایی پس از نامگذاری با قالب بندی مناسب ذخیره گردید.

روش طیف توان دامنه

در پردازش داده‌ها به این روش، همه مراحل شامل انتخاب پنجره‌های ۲۰ ثانیه‌ای عاری از نوفه‌های گذرا، اعمال فیلتر میان گذر ۰/۱ تا ۱۰ هرتز، اعمال پنجره هنینگ ۱۰ درصد، کاملا مشابه روش نسبت طیفی (H/V) انجام شد.

اما در محاسبه به جای طیف دامنه مؤلفه‌های افقی و قائم، طیف توان دامنه برای پنجره‌های انتخابی محاسبه شد. سپس در ادامه مجددا، مشابه روش قبل، میانگین طیف توان دامنه دو مؤلفه افقی محاسبه شد. پنجره ۱۰-۰ هرتز بر روی طیفهای توان حاصل اعمال شد. در مرحله بعد نسبت طیف توان میانگین دو مؤلفه افقی و طیف توان مؤلفه قائم پنجره متناظر محاسبه شد و در انتها جهت حذف برآمدگیهای تیز و زاویه‌دار، پنجره نرم‌کننده مشابه روش قبل بر روی نسبت طیفی نهایی اعمال گردید.

تمام مراحل فوق بر تک تک پنجره‌های ۲۰ ثانیه‌ای انتخابی در هر برداشت اعمال شد و حاصل نهایی پس از نامگذاری با قالب بندی مناسب ذخیره گردیدند.

روش طیف ضرب قطعه‌ای

همه مراحل پردازش در روش سوم نیز کاملا مشابه دو روش قبلی است. بدین ترتیب که در این روش نیز از همان پنجره‌های ۲۰ ثانیه‌ای، فیلتر شده دو روش قبل استفاده گردید. تنها اختلاف در نحوه محاسبه نسبت طیفی است که در اینجا به جای محاسبه ساده نسبت طیفی (H/V) (روش اول) یا طیف توان مؤلفه افقی به طیف توان مؤلفه قائم در روش دوم، از طیف همبستگی متقابل پنجره‌های متناظر در مؤلفه‌های افقی و قائم استفاده شده است. در این روش به عنوان مثال اگر طول رکورد به ۴ پنجره تقسیم شود، برای دو پنجره زمانی ۲۰ ثانیه‌ای از آن، نسبت طیفی به شکل زیر محاسبه و میانگین‌گیری می‌گردد :

جدید به عمل آمده در مطالعات اثرات ساختگاهی، امروزه اعتقاد چندانی به وجود رابطه مشخص میان نسبت دامنه H/V و ضریب بزرگنمایی وجود ندارد، ولی بر طبق نظریه Nakamura(2000) و با در نظر گرفتن چند فرض ساده در خصوص نسبت سرعت امواج P و S، دامنه قرائت شده برای بسامد غالب در نسبتهای طیفی H/V محاسبه شده برای هر ایستگاه، برآورد اولیه قابل قبولی از ضریب بزرگنمایی آبرفت در چنین بسامدهایی را برای ما مشخص خواهد کرد.

۷- بحث و بررسی نتایج

به طور کلی بر اساس برآوردهای به عمل آمده به دو روش نسبت طیفی ساده و نسبت طیف توان که بر روی پنجره‌های مختلف ۴۰ ایستگاه اندازه‌گیری ارتعاشات محیطی در جنوب باختر تهران اعمال شده است، وضعیت بسامد غالب آبرفت در نقاط مختلف این قسمت از تهران تعیین شد (شکل ۳). این شکل در واقع نقشه خطوط با بسامد غالب یکسان برای جنوب باختر تهران را نشان می‌دهد. برای رسم این شکل از مقادیر بسامد غالب به دست آمده در هر ساختگاه (جدول ۲) استفاده شده است. به طور مشابه و با استفاده از مقادیر تقریبی به دست آمده (± ۲ واحد خطا) برای ضریب بزرگنمایی آبرفت که مطابق جدول ۲ با قرائت دامنه بیشینه پیکهای نشان‌دهنده بسامد غالب در پنجره‌های مختلف به دست آمده‌اند، نقشه خطوط با ضریب بزرگنمایی یا تقویت یکسان تهیه گردید (شکل ۴). با توجه به اینکه در بعضی از نسبتهای طیفی محاسبه شده (به هر دو روش نسبت طیفی ساده و نسبت طیف توان) افزون بر بسامدهای غالب نشان داده شده در شکل ۳ با دامنه بیشینه، پیک‌های قابل توجهی با دامنه کمتر ولی کاملاً مشخص مشاهده می‌شوند، لذا نقشه خطوط هم بسامد برای دومین بسامد غالبی که آبرفت زیر ساختگاه نشان می‌دهد ترسیم گردید (شکل ۵). نقشه فوق، به هر حال اگرچه معرف بسامد غالب ساختگاه در نقاط مختلف جنوب باختر تهران نیست اما بر پدیده تقویت آبرفت برای بسامدهای دیگری دلالت دارد که توجه به آن در امر ساخت و سازها در کنار اثر تقویت آبرفت در بسامدهای مربوطه به عنوان اولویت دوم حائز اهمیت است.

بررسی شکل‌های ۳ تا ۵ نشان می‌دهد که بسامد غالب یا بسامد تشدید آبرفت در جنوب باختری تهران و در حد فاصل راه آهن، کرج و خیابان یافت آباد (محدوده ایستگاههای ۱۳، ۱۸، ۱۹ و ۴-۳ هرترز با ضریب تقویت ۲ تا ۴ می‌باشد. از دیگر مناطقی که بسامد غالب نسبتاً بالایی را نشان می‌دهند می‌توان به حد فاصل جاده کمربندی و جاده ساوه (محدوده ایستگاههای ۳۰، ۳۵ و ۳۶) و حد فاصل ایستگاههای ۲۱ و ۲۶ اشاره کرد که بسامد غالب ۴/۵-۳/۵ هرترز را نشان می‌دهند و دارای ضریب

$$\text{Segmental Cross Spectrum} = [N_1 * N_2 / Z_1 * Z_2 + E_1 * E_2 / Z_1 * Z_2] / 2$$

به گونه‌ای که: $Z_1 * Z_2$ طیف حاصل از همبستگی متقابل مؤلفه قائم پنجره اول در دوم، $N_1 * N_2$ طیف حاصل از همبستگی متقابل مؤلفه افقی (شمالی- جنوبی) پنجره اول در پنجره دوم، $E_1 * E_2$ طیف حاصل از همبستگی متقابل مؤلفه افقی (خاوری- باختری) پنجره اول در پنجره دوم است.

در پردازش اطلاعات به روش فوق سعی شد از میان پنجره‌های مختلف، دو پنجره که دارای کمترین حد نوفه‌های گذرا بودند، انتخاب و به روش مزبور تحلیل شوند. دیگر مراحل پردازش مانند اعمال پنجره ۱۰-۱ هرترز و عمل نرم کردن با روش میانگین‌گیری متحرک عیناً مشابه دو روش قبل بر روی نسبتهای طیفی به دست آمده به روش ضرب قطعه‌ای اعمال و نتیجه ذخیره گردید.

نتیجه کاربرد سه روش فوق در تحلیل ارتعاشات محیطی ثبت شده در ایستگاههای E9 و F11 (شکل ۲) ارائه شده‌اند. همان طور که مشاهده می‌شود روش سوم عملاً کمترین هماهنگی را با ۲ روش دیگر دارد. در بعضی موارد پیکهای بسامد آن بسیار اغراق‌آمیز است و در بعضی از نمودارها نیز این پیکها با روش دوم تا حدودی مطابقت دارند. در نتیجه، به رغم اینکه این روش در بعضی مقاله‌ها برای شناسایی و تعیین پریود غالب ساختگاه مؤثر معرفی شده است، ولی به دلیل طولانی بودن عملیات پردازش به وسیله نرم‌افزار و عدم همبستگی با دو روش دیگر و همین طور اغراق‌آمیز بودن دامنه‌های محاسبه شده، از این روش در پردازش و تحلیل نهایی داده‌ها صرف نظر گردید.

همان طور که در قسمت قبل گفته شد از میان روشهای مختلف موجود در پردازش میکروترمورها به روش تک ایستگاهی، دو روش نسبت طیفی ساده (H/V) و طیف توان دامنه در تعیین اثرات ساختگاه و بویژه در تعیین پریود غالب توانمندتر به نظر می‌رسند. لذا تصمیم گرفته شد تا داده‌های میکروترموتر ثبت شده در ۴۰ ایستگاه واقع در جنوب باختر تهران به هر دو روش فوق پردازش شوند. بنابراین در مجموع برای ۴۸۰ پنجره زمانی ۲۰ ثانیه‌ای، عمل پردازش به دو روش فوق انجام گرفت. نتایج حاصل از پردازش طیفی به دو روش فوق در ۴۰ ایستگاه برداشت شده در جدول ۲ ارائه شده‌اند. در بعضی از ایستگاهها به جای یک بسامد غالب منفرد، یک یا چند بسامد مختلف به صورت برآمدگیهای مشخص در نسبتهای طیفی به دست آمده در هر دو روش قابل تشخیص‌اند.

در این تحقیق سعی شده است تا با استفاده از مقادیر دامنه نسبت H/V به دست آمده در روش اول، برآورد ساده‌ای از وضعیت ضریب بزرگنمایی آبرفت در ایستگاههای مختلف به عمل آید. اگر چه بر اساس کارهای

جوان نشان می‌دهد که ضخامت از شمال باختر به سمت جنوب خاور کاهش می‌یابد.

بررسی نتایج حاصل از مطالعات لرزه شناسی به عمل آمده در منطقه جنوب باختر تهران (جعفری و اصغری، ۱۳۷۶) نشان می‌دهد که به طور کلی سرعت امواج تراکمی از باختر به سمت خاور به دلیل کاهش عمق سطح ایستابی آب افزایش می‌یابد.

بنابراین ملاحظه می‌شود که توزیع بسامد غالب در محدوده مورد مطالعه می‌تواند متأثر از دانه‌بندی و ضخامت رسوبات در منطقه باشد که از جنوب باختر به سمت شمال خاور به ترتیب افزایش و کاهش چشمگیری را نشان می‌دهند. ولی در هر حال برقراری ارتباط مستقیم میان بسامد تشدید مشاهده شده و دانه‌بندی رسوبات یا ضخامت آنها امری دشوار بوده و زمانی که اطلاعات دقیق ژئوتکنیکی درون چاهی موجود نباشد، عملاً ناممکن است.

بررسی ارتباط میان ضریب تقویت آبرفت و وضعیت ژئوتکنیکی منطقه عملاً به دودلیل زیر دشوار به نظر می‌رسد:

- اول آنکه توانایی روش H/V در تعیین ضریب تقویت بویژه در نبود تحلیل زمین لرزه‌های ناحیه‌ای و محلی همچنان مورد تردید محققان بوده و در اینجا نتایج تحقیق صرفاً به منظور برآوردی از میزان تقویت به طور نسبی ارائه شده است.

- نبود اطلاعات دقیق ژئوتکنیکی و ژئوفیزیکی از وضعیت لایه‌بندی خاک و سرعت امواج برشی و طولی در ایستگاههای اندازه‌گیری شده و بویژه نبود هرگونه اطلاعی از عمق سنگ بستر در منطقه مطالعه شده، تفسیر عمیق‌تر نتایج حاصل را ممکن نمی‌سازد.

۸- نتیجه گیری

استفاده از اندازه‌گیریهای ارتعاشات محیطی در مطالعات اثر ساختگاه و ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهرهای بزرگ توسعه فراوانی یافته است. نقش اثر ساختگاه در میزان خرابی و خسارت ناشی از زمین‌لرزه امروزه بر کسی پوشیده نیست و محققان بسیاری ضمن تأیید مسئله فوق بر نقش انجام چنین مطالعاتی تأکید فراوان داشته‌اند.

در میان روشهای مختلفی که در انجام مطالعات اثر ساختگاه وجود دارد، اندازه‌گیری ارتعاشات محیطی به لحاظ آسانی، به صرفه‌بودن اقتصادی و قابلیت اندازه‌گیری مناطق وسیع در زمانی کوتاه، از ارزش و اهمیت خاصی برخوردار است. در میان روشهای مختلف نیز شاید نسبت طیفی H/V (روش ناکامورا) جزو ساده‌ترین و کاربردی‌ترین روشهای موجود باشد.

بزرگنمایی (± 2) می‌باشد. مناطق دیگر در جنوب باختری تهران بیشتر بسامدهای غالب در محدوده ۲/۵-۱/۵ هرتز را نشان می‌دهند. ضریب تقویت آبرفت نیز در مناطق مزبور بین (± 2) ۴/۵-۳/۵ متغیر است.

بررسی ضریب تقویت آبرفت برای بسامد تشدید در محدوده مورد مطالعه نشان می‌دهد که بیشینه بزرگنمایی در حدود (± 2) ۶ در حد فاصل ایستگاههای ۲۴، ۲۵ و ۲۶ مشاهده می‌شود که می‌تواند به بسامد تشدید ۱-۱/۵ هرتز نسبت داده شود. منطقه دیگری که ضریب تقویت مشابه (± 2) ۶ برای بسامد حدود ۲ هرتز را نشان می‌دهد به محدوده میدان راه‌آهن و میدان بهمی (ایستگاه ۲۲) مربوط می‌شود. در بخشهای شمال باختری و جنوب خاوری منطقه مورد مطالعه یعنی محدوده اکباتان (حدفاصل ایستگاههای ۱، ۲ و ۷) و خاور اتوبان قم (ایستگاههای ۳۸ و ۳۹) نیز ضریب تقویت (± 2) ۶ مشاهده می‌شود که مربوط به بسامدهای ۱/۵-۰/۵ هرتز در منطقه اکباتان و ۴/۵-۳ هرتز در جنوب خاور منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

البته همان طور که قبلاً نیز بحث شد روش نسبت طیفی H/V، روش توانمندی در تعیین ضریب تقویت آبرفت نیست و فقط به طور نسبی می‌تواند میزان بزرگنمایی اثر هر ساختگاه را در مقایسه با دیگر ساختگاهها نشان دهد.

به طور کلی، همان گونه که در شکل ۳ مشاهده می‌شود، با حرکت به سمت خاور و بویژه شمال خاور از مقدار بسامد غالب کاسته می‌شود. بیشترین بسامد غالب در حدود ۴ هرتز در جنوب باختر و باختر مشاهده می‌شود که مقدار آن به تدریج در جهت خاور و شمال خاور به حدود ۲-۱ هرتز کاهش می‌یابد.

مطالعات ژئوتکنیکی انجام شده، نشان می‌دهد که اندازه ذرات نهشته شده

از شمال به طرف جنوب کاهش می‌یابند. رسوبات شنی و قلوه سنگی شمال منطقه به تدریج به سمت جنوب ریزتر شده و در نهایت به سیلت و رس تبدیل می‌شوند. در بین دو قسمت درشت دانه و ریزدانه یک نوار انتقالی به پهنای حدود ۲ کیلومتر وجود دارد که آبرفتهای آن از لایه‌های متناوب ریزدانه و درشت دانه تشکیل یافته است (جعفری و اصغری، ۱۳۷۶).

نتایج حاصل از مطالعات ژئوالکتریک به عمل آمده و چاههای عمیق حفاری شده نشان می‌دهد که بیشترین ضخامت آبرفت در قسمت شمال باختر منطقه با حدود ۳۰۰ متر و کمترین ضخامت مربوط به نهشته‌های ریزدانه جنوب خاور (حدود ۸۰ متر) است. نقشه منحنیهای هم‌ضخامت رسوبات آبرفتی

کارهای مشابه به عمل آمده در دیگر شهرهای بزرگ نشان می‌دهد که بسامد غالب از ساختگاهی به ساختگاه دیگر ولو در فاصله کمی از یکدیگر، بسیار متغیر است. با این وجود توجه به نکات زیر درباره این روش اهمیت دارد:

۱. این روش، تعیین دامنه ارتعاشات خاک در بسامد تشدید را به طور مطلق ممکن نمی‌سازد و تنها دیدگاهی کلی راجع به میزان ضریب تقویت به طور نسبی در مقایسه با ساختگاههای دیگر ارائه می‌دهد.
۲. بهتر است که برداشت و ثبت ارتعاشات محیطی در نقاطی انجام گیرد تا وجود ارتعاشات گذرا و ناخواسته به کمترین حد خود برسد. عدم وجود ارتعاشات گذرا، تفسیر نتایج را راحت‌تر می‌سازد.
۳. نتایج تحلیل به عمل آمده بر روی ارتعاشات محیطی برداشت شده در جنوب باختر تهران بار دیگر این حقیقت که نسبت طیفی H/V در زمانهای مختلف پایدار می‌باشد را به اثبات رسانید. در برداشتهای به عمل آمده در زمانهای مختلف همواره بسامد غالب (تشدید) به نحوی قابل پیگیری بود.

تشکر و قدر دانی

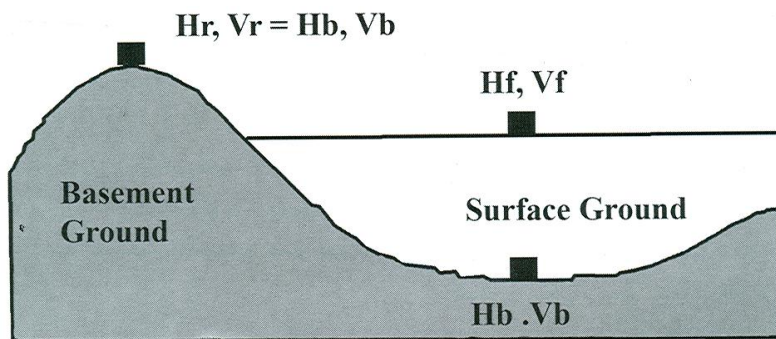
از جناب آقای دکتر جعفری معاون پژوهشگاه بین المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله و مجری پروژه ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای جنوب باختر تهران که امکان استفاده از داده‌های برداشت شده در طی پروژه فوق و تحلیل مجدد آنها را ممکن ساختند، صمیمانه سپاسگزاری می‌گردد. همچنین از بخش الکترونیک گروه زلزله‌شناسی و بخش ژئوفیزیک پژوهشگاه بویژه آقای مهندس حیدری و دکتر جوان دولویی که زحمت نصب ایستگاهها، ثبت و اندازه‌گیری ارتعاشات محیطی را به عهده داشتند تشکر و قدردانی می‌گردد.

لذا در این پژوهش سعی شد تا اثر ساختگاه در جنوب باختر تهران و بویژه بسامد تشدید در نقاط مختلف آن بر اساس اندازه‌گیری ارتعاشات محیطی، مورد تحقیق و ارزیابی قرار گیرد. به طور کلی نتیجه تحلیل بیش از ۴۸۰ پنجره زمانی مربوط به برداشتهای مختلف در ۴۰ ایستگاه که بر پایه دو روش نسبت طیفی ساده و نسبت طیف مؤلفه افقی به قائم صورت گرفت به شرح زیر خلاصه می‌شود:

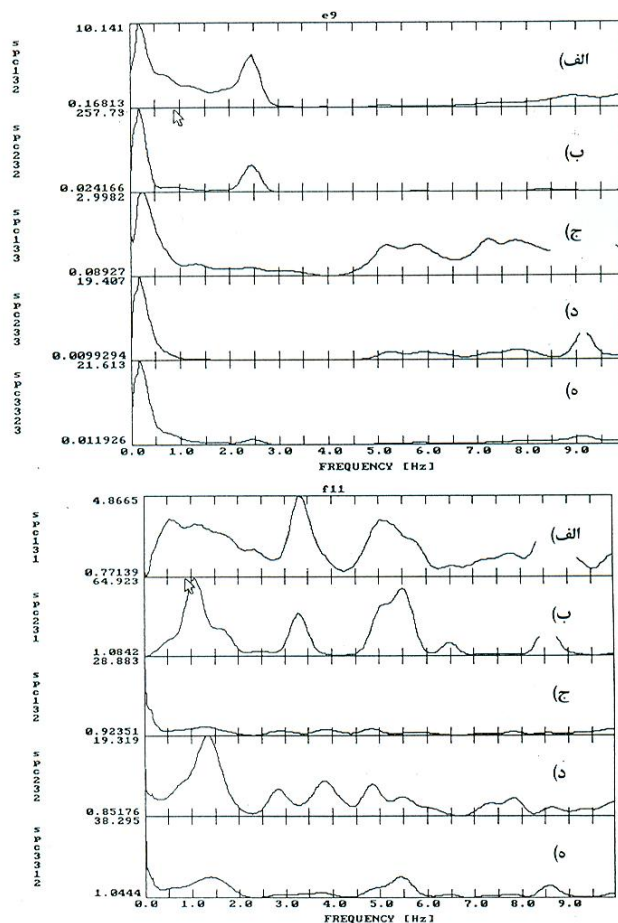
مجموع اطلاعات جمع آوری شده نشان داد که پاسخ آبرفت در نقاط مختلف جنوب باختر تهران متفاوت است. تحلیل به روش ناکامورا این امکان را فراهم کرد تا بتوانیم نقشه بسامد تشدید آبرفت در جنوب باختر تهران را رسم کنیم. این بسامد در مناطق جنوب باختر تهران و باختر-شمال باختر محدوده مورد مطالعه دارای تغییرات نسبتاً تند بوده در حالی که در خاور و بخشهای مرکزی تغییرات ملایم‌تری با بسامد تشدید غالباً کمتر از ۲ هرتز را نشان می‌دهند. در بعضی ساختگاههای خاص، نسبتهای طیفی محاسبه شده، ضریب تقویت (± 2) در یک باند بسامد ۲-۱ هرتز را نشان می‌دهند.

همان گونه که در بعضی از مطالعات پیشین اثرات ساختگاه نیز عنوان شده است (Lobron, 1997) چنین به نظر می‌رسد که در مناطقی که بیش از یک لایه وجود دارد، چندین بسامد غالب با دامنه‌های قابل توجه مشاهده می‌شود. لذا در این تحقیق بر پایه نتایجی که به خوبی بر وجود بسامد غالب دیگری دلالت داشته‌اند، نقشه دومین بسامد تشدید نیز رسم شد.

با توجه به مطالعاتی که به عمل آمده می‌توان چنین بیان کرد که روش نسبت طیفی H/V با استفاده از ارتعاشات محیطی، تعیین بسامد تشدید در یک ساختگاه را ممکن می‌سازد. نتایج حاصل از این مطالعه در کنار



شکل ۱- طرح شماتیکی از ساختار زمین شمالی در یک حوضه رسوبی



شکل ۲- مقایسه روش‌های نسبت ساده طیفی، نسبت طیف توان و طیف ضرب قطعه‌ای برای پنجره‌های زمانی مختلف از میکروترمورهای ثبت شده در ایستگاههای F11, E9. الف) روش نسبت طیفی ساده برای پنجره اول از برداشت سوم، ب) روش نسبت طیف توان برای پنجره اول از برداشت سوم، ج) روش نسبت طیفی برای پنجره دوم از برداشت سوم، د) روش نسبت طیف توان برای پنجره دوم از برداشت سوم، ه) روش طیف ضرب قطعه‌ای برای پنجره‌های اول و دوم از برداشت سوم

جدول ۱- موقعیت ایستگاههای لرزه نگاری جهت ثبت ارتعاشات محیطی در جنوب باختر تهران

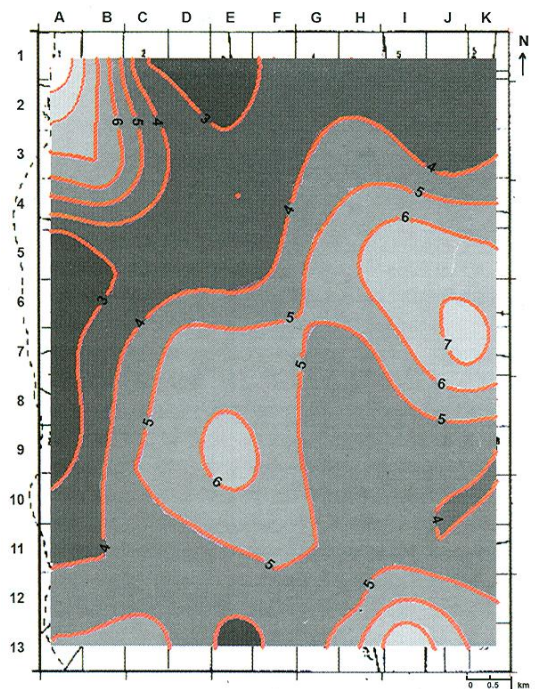
| شماره | واحد شبکه‌ای | محل نگاشت |
|-------|--------------|---|
| ۱- | A1 | جاده مخصوص کرج - نرسیده به پل مسیر کن - ۵۰۰ متر به طرف شمال |
| ۲ | C1 | جاده مخصوص کرج - کوی بیمه |
| ۳ | E1 | تقاطع بزرگراه محمدعلی جناح و اتوبان تهران - کرج، سمت غرب |
| ۴ | G1 | دانشگاه صنعتی شریف |
| ۵ | I1 | بیمارستان امام خمینی - وسط ضلع جنوبی |
| ۶ | K1 | خیابان انقلاب - جنوب شرقی دانشگاه تهران |
| ۷ | B3 | جاده قدیم کرج - سمت شمال - خیابان توحید |
| ۸ | F3 | خیابان جی - تقاطع استاد معین و هاشمی |
| ۹ | H3 | تقاطع خیابان مرتضوی با نواب - پارک کودک |
| ۱۰ | J3 | میدان حر |
| ۱۱ | D3 | ابتدای جاده قدیم کرج - میدان بازی خاکی فوتبال |
| ۱۲ | A5 | جنوب مهرآباد - خ ۱۷ شهرپور - کارخانه بررسی گاز |
| ۱۳ | C5 | جنوب مهرآباد - انتهای شرقی خ ۱۷ شهرپور - خندان |
| ۱۴ | E5 | خیابان آزادی - کارخانه البرز |
| ۱۵ | G5 | خیابان قزوین - محوطه حرم امام زاده حسن |
| ۱۶ | I5 | تقاطع خیابان قزوین با نواب |
| ۱۷ | K5 | خیابان مولوی - ما بین تقاطعهای ولیعصر و وحدت اسلامی |
| ۱۸ | B7 | شادآباد - تقاطع جاده یافت آباد و شهید محمد طاهری |
| ۱۹ | D7 | تقاطع جاده یافت آباد و ۱۰ متری طالقانی |
| ۲۰ | F7 | خیابان جاده ساوه - شهرک ولیعصر - پارک ولیعصر |
| ۲۱ | H7 | خیابان زمزم - پارک زمزم |
| ۲۲ | J7 | میدان کشتارگاه - پارک بهمن |
| ۲۳ | A9 | کمربندی جنوب تهران - شرق پل کن - ۱۰۰۰ متر بطرف جنوب |
| ۲۴ | C9 | کمربندی جنوب تهران - تقاطع جاده بنز خاور - سمت شمال کمربندی |
| ۲۵ | E9 | جاده ساوه - خیابان طالقانی - حریم راه آهن |
| ۲۶ | G9 | جاده ساوه - نعمت آباد |
| ۲۷ | I9 | ضلع جنوبی فرودگاه قلعه مرغی |
| ۲۸ | K9 | نازی آباد - چهارصد دستگاه |
| ۲۹ | B11 | جاده ساوه - بعد از کمربندی - شهرک گلشهر |
| ۳۰ | F11 | ۵۰۰ متری شرق تقاطع جاده ساوه با کمربندی جنوب |
| ۳۱ | H11 | کمربندی جنوب - تقاطع جاده خلایق |
| ۳۲ | J11 | کمربندی جنوب - شمال شرقی تقاطع اتوبان قم (میدان جهاد) |
| ۳۳ | H12 | تقاطع بعثت با کمربندی جنوب - میدان میوه وتره بار مادر |
| ۳۴ | A13 | اتوبان قم - کیلومتر یک - ۵۰۰ متر به طرف غرب |
| ۳۵ | C13 | تقاطع جاده ساوه با مسیل کن |
| ۳۶ | E13 | تقاطع جاده ساوه - حسین آباد |
| ۳۷ | G13 | کمربندی - قلعه مرتضی کرد - یک کیلومتری جنوب روستا |
| ۳۸ | I13 | اتوبان قم - کیلومتر ۲ - یک کیلومتر به طرف غرب |
| ۳۹ | D13 | اتوبان قم - کیلومتر دو - ۵۰۰ متر به طرف شرق |
| ۴۰ | K13 | اتوبان بهشت زهرا - امام زاده ابوالحسن |

جدول ۲- نتایج مطالعات حاصل از اندازه‌گیری میکروترمورها در جنوب باختر تهران

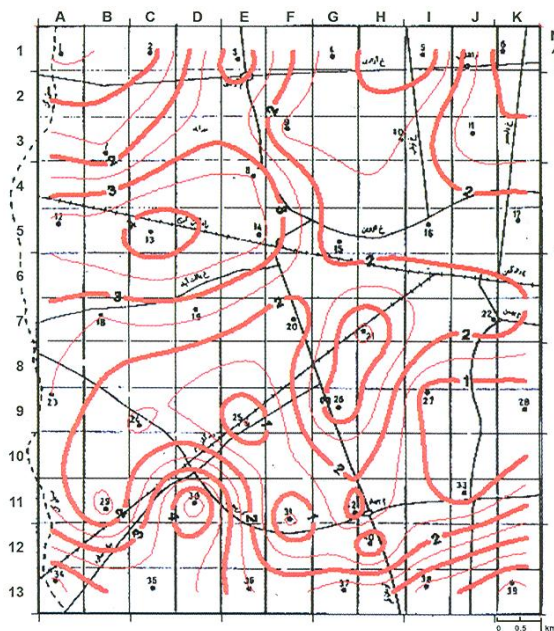
| شماره ایستگاه | واحد شبکه ای | بسامد غالب (هرتز) | ضریب تقویت |
|---------------|--------------|---------------------------|-----------------|
| ۱ | A1 | ۱-۱/۵ ۰/۲۵-۰/۵ | ۵ |
| ۲ | C1 | ۳/۵ ۰/۵-۱ | ۳ ۳ |
| ۳ | E1 | ۴/۵ ۱-۱/۵ | ۲/۵ ۱/۷۵ |
| ۴ | G1 | ۱/۲۵ | ۳/۸ |
| ۵ | I1 | ۰/۲۵-۰/۷۵ ۴/۵ | ۳/۵ ۲ |
| ۶ | K1 | ۴/۴ ۰/۶ | ۳/۵ ۳ |
| ۷ | B3 | ۱/۶ | ۷ |
| ۸ | F3 | ۳/۲۵-۴/۷۵ ۲/۲۵-۲/۷ | ۳ ۲/۵ |
| ۹ | H3 | ۱/۳ | ۳/۵ |
| ۱۰ | J3 | ۱/۵ ۳ | ۴/۵ ۲ |
| ۱۱ | D3 | ۲/۷۵-۴/۲۵ ۱-۱/۵ | ۳ ۲ |
| ۱۲ | A5 | ۳/۵-۴ ۱/۳ | ۲ ۱/۴ |
| ۱۳ | C5 | ۴/۵ ۲/۵-۴ ۱/۲۵-۱/۷۵ | ۴ ۲/۷ ۱/۵ |
| ۱۴ | E5 | ۳/۵-۴ ۰/۸-۱ | ۳ ۱/۵ |
| ۱۵ | G5 | ۱/۶ | ۵/۵ |
| ۱۶ | I5 | ۳/۵ ۱/۵-۱/۸ | ۲ ۷ |
| ۱۷ | K5 | ۲/۷۵ ۱/۵ | ۳ ۶ |
| ۱۸ | B7 | ۴ ۲/۵ | ۳/۵ ۲ |
| ۱۹ | D7 | ۲/۷ | ۵/۵ |
| ۲۰ | F7 | ۳ ۱/۵ | ۳/۵ ۵/۵ |
| ۲۱ | H7 | ۳/۷۵ ۱/۴ | ۴ ۳/۵ |

ادامه جدول ۲

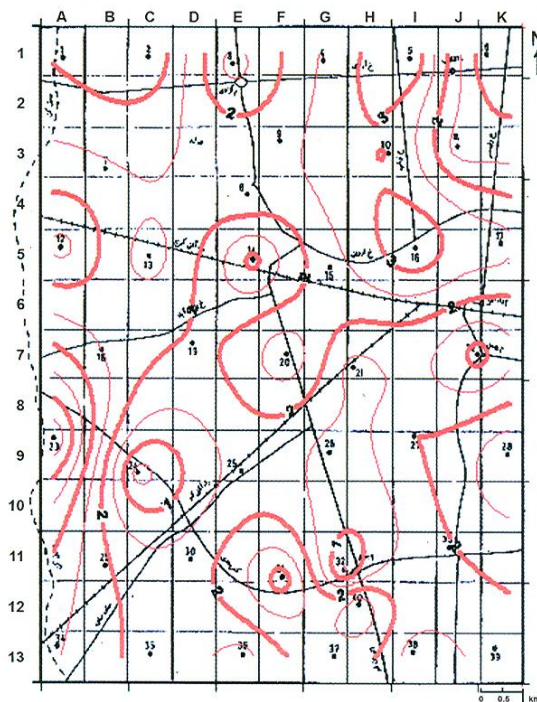
| شماره ایستگاه | واحد شبکه‌ای | بسامد غالب (هرتز) | ضریب تقویت |
|---------------|--------------|-----------------------|-------------|
| ۲۲ | J7 | ۲/۳-۲/۵ ۰/۷۵ | ۷/۵ ۴ |
| ۲۳ | A9 | ۵ ۲/۵ | ۲ ۲ |
| ۲۴ | C09 | ۱/۴ ۰/۲۵ | ۵ ۴/۵ |
| ۲۵ | E9 | ۰/۴ | ۶/۵ |
| ۲۶ | G9 | ۳/۵ ۱/۴ | ۴/۵ ۳/۵ |
| ۲۷ | I9 | ۲ ۰/۷ | ۴/۵ ۲ |
| ۲۸ | K9 | ۲/۷۵-۲/۲۵ ۰/۵ | ۴ ۴ |
| ۲۹ | B11 | ۱-۱/۵ | ۴ |
| ۳۰ | D11 | ۵ ۱/۸ | ۴/۵ ۳/۵ |
| ۳۱ | F11 | ۳/۳ ۰/۴ | ۳ ۵ |
| ۳۲ | H11 | ۴ ۲-۲/۴ ۰/۳-۰/۵ | ۳ ۵ ۴ |
| ۳۳ | J11 | ۰/۷ | ۴ |
| ۳۴ | H12 | ۴/۵-۴/۷ | ۵ |
| ۳۵ | A13 | ۳/۸ | ۵/۵ |
| ۳۶ | C13 | ۲/۴-۲/۷ ۱/۴ | ۳/۵ ۲/۵ |
| ۳۷ | E13 | ۳ | ۵ |
| ۳۸ | G13 | ۳/۷ ۱-۱/۵ | ۸ ۴ |
| ۳۹ | I13 | ۴/۶ | ۵/۵ |
| ۴۰ | K13 | ۲/۷۵-۲/۲۵ ۰/۴ | ۲/۵ ۴/۵ |



شکل ۴- نقشه توزیع ضریب تقویت متناظر با اولین بسامد غالب آبرفت در جنوب باختر تهران



شکل ۳- نقشه توزیع بسامد غالب آبرفت در جنوب باختر تهران



شکل ۵- نقشه توزیع دومین بسامد غالب آبرفت در جنوب باختر تهران

کتابنگاری

جعفری م. ک.، و اصغری ۱. ۱۳۷۶- ریزپهنه بندی ژئوتکنیک لرزه‌ای جنوب غربی تهران از دیدگاه تأثیرات ساختمانی، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله.
مهرآئین، ل.، ۱۳۸۳- مطالعه اثر ساختمان در جنوب غربی تهران با استفاده از اندازه‌گیریهای میکروترومور، پایان‌نامه کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد تهران شمال.

References

- Brocherdt, T. D., 1970- Effects of local geology on ground motion near Sanfrancisco Bay, Bull. Seism. Soc., Am, 60, 29-61.
Chavez Garcia, F.G., and Bard P.Y., An experimental study of site effects near Theassaloniki, Bull. Seism. Soc. Am., 80, pp. 847-806.
Field, E. H., and Jacob K.H., 1990- Using microteremore to asses potential Earthquake site reponse, Bull. Seism. Soc. Am. 80, 1456-1480.
Ghayamghamian, M.R., and Kawakami H., 1997- Segmental Cross-Spectrum in Microtremor spectral ratio analysis, 7th Conference on Structural Safety and Peliability, kyoto, November 24-28, PP. 1487-1494.
Kagami, H., Okada S., 1986- Observation of 1 to 5 second microtermores and their application to eartqhauke engineering, Part III, Bull. Seism. Soc. Am., vol 76, 1801-1812.
Kobayashi, H., Yamazaki Y., 1991- Seismic microzoning study of Mexico city by means of Microtremore measurement, in Proc. 4th International conference Seismic Zonation, Vol.3, Earthquake Eng., Res. Inst., Stanford, California, 557-564.
Lermo, J., Chavez-Garcia F. J., 1993- Site effect evaluation using spectral ratios with only one station, Bull. Of Seism.Soc. An., Vol 183, 1574-1594.
Langston, 1979- Structure under Mount Rainier, Washigton, inferred from teleseismic body waves, J. Geophysics. Res. 84, 4749-4762.
Lobron, 1997- Les effets de site: etude experimentale et simulation de tries configuration, these u l'universite de grenoble, France.
Nakamura Y., 1989- A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microteremore on the ground surface, QR of RTRI 30, no. 1, 25-33.
Nakamura Y., 2000- Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications, 12 WCEE 2000, yutaka@sdr.co.jp
Nogoshi & Igarashi, 1971- On the amplitude characteristics of Microteremore (part 2), Jour. Seis. Soc., Japan., 24, 26-40.
Singh S.K., 1992- A Site effect study in Acapulco Guerrero, Mexico, Comparison of results of strong motions and microtremore data, Bull.seism.Soc. Am., 82, pp. 642-659.
Yamanaka, H., 1993- Continuous measurement of microtremors on sediments and basement in Los Angeles, Bull. Seism. Soc. Am., 83, pp. 1595-1604.
Yamazaki, F., Katayama, 1992- Soil amplification based on seismometer array and Microtremor observations in chiba, Japan, Earthquake Enginerring Soil. Dyn., 21, pp. 95-108.

* دانشگاه آزاد اسلامی، واحد تهران شمال

** پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله

*Islamic Azad University, North Tehran Branch

**International Institute of Earthquake Engineering and Seismology