

اثر چشمه میکروترومورها در تعیین مشخصات ساختگاهی با استفاده از روش H/V

رضا حیدری^۱، محمدرضا قائمقامیان^{۲*} و ظاهر حسین شمالی^۳

۱ دانشگاه آزاد اسلامی - واحد علوم و تحقیقات، تهران، ایران
 ۲ پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله، تهران، ایران
 ۳ موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، ایران

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۴/۲۶، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۳/۱۱)

چکیده

در این مقاله تابع بزرگ‌نمایی ساختگاه در ۱۰ ایستگاه شتاب‌نگاری متعلق به شبکه شتاب‌نگاری سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران در گسترده شهر تهران تعیین شده است. بدین منظور از ثبت نوفه‌های پیوسته در ۴۰ روز متوالی و تحلیل آنها به روش نسبت طیفی مولفه‌های افقی به قائم (H/V)، استفاده شده است. نتایج به‌دست آمده نشان‌دهنده حساسیت تابع‌های بزرگ‌نمایی ساختگاه به میزان و منشأ نوفه صنعتی بوده است. این تابع‌ها در برخی از محدوده‌های بسامدی به‌شدت تحت‌تأثیر نوفه‌های صنعتی حاصل از کارخانه‌ها بوده و هر دو پارامتر بسامد غالب و ضریب بزرگ‌نمایی ساختگاه را در آن محدوده‌های بسامدی متأثر کرده است. بررسی تابع‌های بزرگ‌نمایی نشان داد که در شهر تهران و به‌ویژه در مناطق جنوبی آن کارخانه‌های صنعتی بسیاری وجود دارد که دامنه‌های نسبتاً قوی در محدوده بسامدی ۱ تا ۱/۵ هرتز را به‌وجود می‌آورند و باعث افزایش کاذب ضرایب بزرگ‌نمایی ساختگاه به میزان ۱/۵ تا ۲ برابر در این محدوده بسامدی شده‌اند. این در حالی است که بسامد غالب و ضرایب بزرگ‌نمایی به‌دست آمده در شهر تهران در غیاب این نوفه‌های صنعتی مقادیری متفاوت و منطبق با نتایج تحقیقات قبلی دارند. بنابراین، در روش نسبت طیفی مولفه‌های افقی به قائم در تعیین اثرهای ساختگاه برای شهرهای صنعتی (با نوفه‌های صنعتی شدید) مشابه تهران بایستی نقش نوفه‌های صنعتی را به‌منزله عاملی مهم و تأثیرگذار مشخص نموده و در نتایج تحلیل مدنظر قرار داد. این بدان دلیل است که دامنه قله‌های موجود در بسامدهای مربوط به نوفه‌های صنعتی گاهی ممکن است در حکم بسامد غالب ساختگاه تعبیر و منجر به ارائه نتایج گمراه‌کننده در تفسیر اثرهای ساختگاهی در شهر تهران گردد.

واژه‌های کلیدی: بسامد غالب، ضریب بزرگ‌نمایی، میکروترومور، نوفه صنعتی، اثرات ساختگاهی

Site characterization of the source microtremors using the H/V method

Reza Heidari¹, Mohammad-Reza Ghayamghamian² and Zaher-Hossein Shomali³

¹Department of Geophysics, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

²International Institute of Earthquake Engineering and Seismology, Tehran, Iran

³Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

(Received: 16 July 2012, accepted: 1 June 2014)

Summary

In this study, the local site amplification characteristics are investigated at 10 accelerometer stations organized by Tehran Disaster Mitigation and Management Organization (TDMMO) in Tehran city. The microtremor data were selected from 40 days continuous recording at each station. The site amplification functions are calculated using horizontal to vertical spectral ratio (H/V) in the frequency domain. The results

*Corresponding author:

mrgh@iiees.ac.ir

*نگارنده رابط:

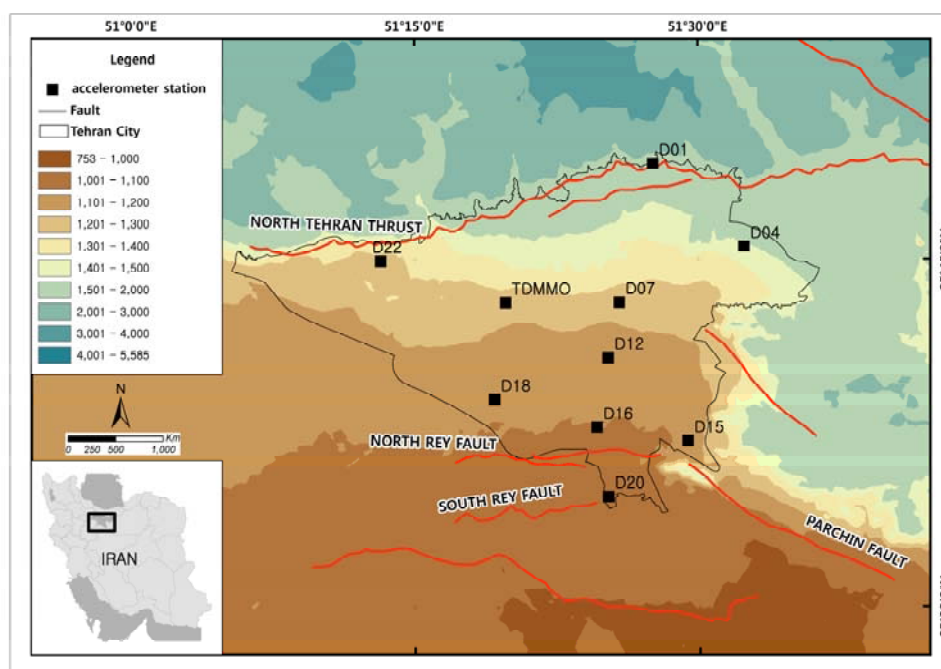
revealed large sensitivity to the microtremor sources. When compared the results with previous studies using earthquake data, the computed amplification functions showed the peaks not related to the site or different amplification values at predominant peak frequencies at the sites. To find the reasons, the amplification function at the sites was calculated using microtremor data recorded at weekdays and holidays. Meanwhile, the results of calculated amplification functions for holidays showed a good agreement with those of previous studies that mean the industrial noise largely affect the results, especially in the south of Tehran. Furthermore, It was found that the industrial noise mostly affected the frequency range of 1 to 1.5 Hz. This also led to increase the amplification coefficient in an order of 1.5 to 2.2. This emphasized on the fact that the microtremor data recorded in the mega-cities like Tehran should be carefully analyzed to prevent misleading results. Furthermore, it is suggested to use microtremor data recorded in the holidays to avoid such heavy industrial noise contamination.

Keywords: Predominant frequency, amplification factors, microtremors, industrial noise, site effects

۱ مقدمه

پارامترهای مشخص کننده ویژگی‌های محلی لایه‌های زیرین هر ساختگاه یعنی بسامد غالب و ضریب بزرگ‌نمایی، نقش بسیار مهمی در تحقیقات مهندسی زلزله ایفا می‌نماید. تاثیر این ویژگی‌ها بر دامنه امواج ثبت شده در محدوده‌های بسامدی متفاوت در حین زمین‌لرزه (اثر ساختگاه)، بایستی به‌منزله یکی از عوامل مهم در تحقیقات کاهش خطر زمین‌لرزه و یا برآورد جنبش‌های نیرومند زمین در تحقیقات سامانه‌های برآورد سریع خسارت و هشدار سریع در نظر گرفته شود. محدوده تقویت و یا تضعیف بسامدی دامنه امواج ثبت شده تحت تاثیر اثر ساختگاه به ضخامت، چگالی، سرعت موج برشی، میرایی و موارد دیگر بستگی دارد (اکی، ۱۹۸۸). اثرهای ساختگاهی بر جنبش نیرومند زمین با بررسی خسارت‌های ناشی از زمین‌لرزه‌های مخربی، همچون زمین‌لرزه ۱۹۸۵ میشیگان در مکزیک و زمین‌لرزه ۱۹۸۹ لوماپریتا در کالیفرنیا اهمیت یافت. روش‌های متفاوتی برای برآورد اثرهای ساختگاه وجود دارد. برای مثال می‌توان به روش‌های عددی اشاره کرد که لازمه آن اندازه‌گیری‌های پرهزینه و تعیین بسیاری پارامترهای دینامیکی مربوط به لایه‌بندی زیرسطحی است. از بین

روش‌های بررسی اثرهای ساختگاه؛ روش‌های تجربی سریع‌ترین، ارزان‌ترین و کاربردی‌ترین روش‌ها هستند که در آنها از نگاهت زمین‌لرزه‌ها و نوفه‌های پیوسته ثبت شده در ساختگاه‌های موردنظر برای تعیین بسامد غالب و ضریب بزرگ‌نمایی ساختگاه استفاده می‌شود. یکی از این روش‌های تجربی، روش نسبت طیفی مولفه‌های افقی به قائم است که اولین بار ناکامورا (۱۹۸۹)، بر امواج نوفه اعمال کرد و درحکم روش تعیین اثرهای ساختگاهی به جامعه مهندسی معرفی شد. اگرچه نظریه روشن و محکمی برای این روش وجود ندارد؛ اما نتایج قابل قبول آن در بسیاری از طرح‌های تحقیقاتی آشکار است. لرمو و چاوزگارسیا (۱۹۹۳؛ ۱۹۹۴)، تسوی و همکاران (۲۰۰۱)، کونو و اهماچی (۱۹۹۸)، قائم‌مقامیان (۲۰۰۵)، قائم‌مقامیان و کاواکامی (۱۹۹۶) و قائم‌مقامیان و موتوساکا (۲۰۰۳)، روشن ساختند که نتایج به‌دست آمده از روش نسبت طیفی مولفه افقی به قائم روی نوفه‌ها با نتایج حاصل از جنبش‌های ناشی از زمین‌لرزه‌ها منطبق است و در نتیجه، کاربرد این روش در مهندسی زلزله با استفاده از هر دوی داده‌های نوفه و زمین‌لرزه متداول است. به‌طور کلی امواج نوفه از هر دو نوع امواج سطحی و حجمی تشکیل شده‌اند که مولفه قائم آنها کمتر لایه‌های آبرفتی را تحت تاثیر



شکل ۱. نقشه توپوگرافی حیطه شهر تهران و توزیع ایستگاه‌های شتاب‌نگاری مورد استفاده در این مطالعه (مربع مشکی).

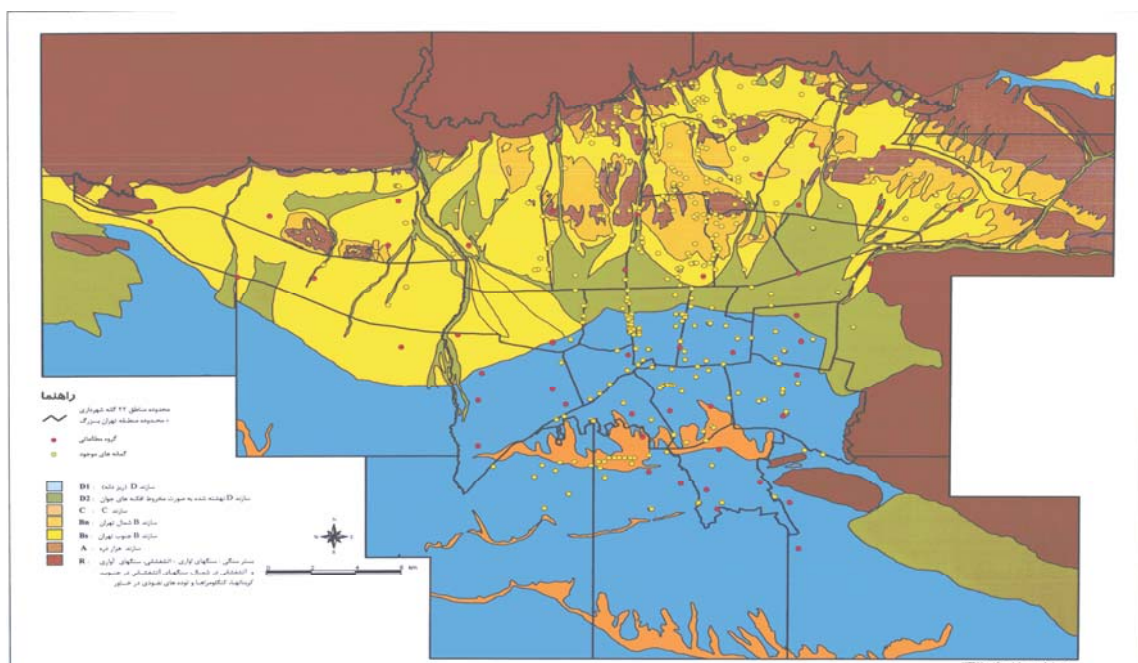
به قائم میکروترمورها بوده است. بدین ترتیب، در این تحقیق بررسی‌های لازم به‌منظور تعیین محدوده بسامدی اثر این نوفه‌ها و تغییرات دامنه‌ای قله‌های مربوط به این محدوده بسامدی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج این تحقیق می‌تواند تاثیر شایانی در تفسیر اثرهای ساختمانی در شهر تهران داشته باشد و از عرضه برخی نتایج گمراه‌کننده جلوگیری نماید.

۲ زمین‌شناسی تهران

منطقه شهری تهران روی لایه‌ها آبرفتی توسعه یافته است. از نظر زمین‌ریخت‌شناسی، تهران روی قسمتی از یک پهنه مخروط‌افکنه‌ای بسیار وسیع که کوهپایه‌های جنوبی البرز را در طول صدها کیلومتر در بر می‌گیرد، بنا شده است (شکل ۲). این پهنه از شمال به دامنه‌های جنوبی رشته‌کوه‌های البرز و از شرق به مجموعه‌ای از ارتفاعات، به نام ارتفاعات سه‌پایه محدود می‌شود. این ارتفاعات که از نظر زمین‌ساختی با عنوان آنتی‌البرز از آنها نام برده

قرار داده و بیشتر مولفه افقی تحت‌تأثیر لایه‌های سطحی قرار می‌گیرد. بنابراین، نسبت طیفی مولفه‌های افقی به قائم در روش ناکامورا (۱۹۸۹)، می‌تواند گویای مشخصات لایه‌های آبرفتی سطحی باشد.

در این تحقیق از نوفه‌های پیوسته ثبت شده در ۱۰ ایستگاه شتاب‌نگاری مربوط به شبکه شتاب‌نگاری سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران برای برآورد اثرهای ساختمانی با استفاده از روش نسبت طیفی مولفه افقی به قائم استفاده شده است (شکل ۱). در پایان نتایج حاصل از این تحقیق با تحقیقات پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله در سال ۱۳۸۹، که با استفاده از چندین روش ژئوفیزیکی و ژئوتکنیکی ضرایب بزرگ‌نمایی را در محدوده بسامدی بین ۰/۵ تا ۷ هرترز برای شهر تهران نشان می‌دهد، مقایسه شده است. مقایسه این تابع‌ها بیانگر تأثیر فاحش چشمه‌های نوفه‌های صنعتی بر مشخصات اثرهای ساختمانی مستخرج از تابع‌های بزرگ‌نمایی محاسبه شده به روش نسبت طیفی مولفه افقی



شکل ۲. ساختار زمین‌شناسی (گزارش جایکا از ریزپهنه‌بندی شهر تهران، ۱۳۷۱).

بیشتر از ۱۶۵ دسی‌بل هستند. نوفه‌ها با فاصله نمونه‌برداری ۱۰۰ نمونه در ثانیه ثبت شده است و در بازه بسامدی ۰/۱ تا ۱۰ هرتز با فیلتر میان‌گذر از نوع Butterworth مرتبه ۴ فیلتر شده است. این ایستگاه‌ها در سطح شهر تهران روی ساختارهای زمین‌شناسی متفاوت با لایه‌بندی زیرسطحی گوناگون قرار دارند. سه ایستگاه D01، D04 و D07 در روی مناطقی از شهر تهران با خاک نسبتاً سخت و یا سنگ نصب شده‌اند. دیگر ایستگاه‌ها روی لایه‌های رسوبی ریزدانه تا درشت‌دانه نرم تا متوسط واقع شده است. تهران یک شهر تقریباً صنعتی است و وجود کارخانه‌های صنعتی بزرگ در این شهر (به‌ویژه در مناطق جنوبی)، باعث شده است که روی لرزش‌های زمین در کل گستره شهر (با شدت زیاد و کم)، تأثیرات محسوسی مشاهده شود. این نوفه‌های صنعتی ممکن است روی محتویات بسامدی زمین‌لرزه‌های کوچک و یا در بررسی‌های دورلرزه‌ای برای تعیین پارامترهای زمین‌لرزه‌ها، اثرهای ناخوشایندی داشته باشند. بدین ترتیب ضروری است تا منشأ و نوع اثر

می‌شود (بربریان و همکاران، ۱۳۷۱)، در ادامه جنوبی خود (جنوب شرق تهران) ارتفاعات معروف بی‌بی شهربانو را تشکیل می‌دهند.

۳ نحوه ثبت نوفه‌ها و وضعیت ایستگاه‌های شتاب‌نگاری
داده‌های مورد استفاده در این تحقیق شامل داده‌های نوفه مربوط به ثبت پیوسته ۴۰ روز متوالی (روز ۷۰ تا روز ۱۱۰ سال ۲۰۱۰)، در ۱۰ ایستگاه شتاب‌نگاری متعلق به سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران است. همان‌گونه که در شکل ۱ مشخص است، این ایستگاه‌های شتاب‌نگاری به گونه‌ای طراحی شده که با توجه به محدودیت تعداد دستگاه‌ها بتواند کل شهر تهران را پوشش دهد. ثبت داده‌ها در این ایستگاه‌ها با استفاده از حس‌گرهای شتاب‌نگاری نواریپهن CMG-5T متعلق به شرکت Guralp به انجام رسیده است. این حس‌گرها دارای محدوده بسامدی تخت (flat) در بازه بسامدی ۰/۱ تا ۱۰۰ هرتز برای گستره دینامیکی ثبت دامنه به میزان

گوناگون است:

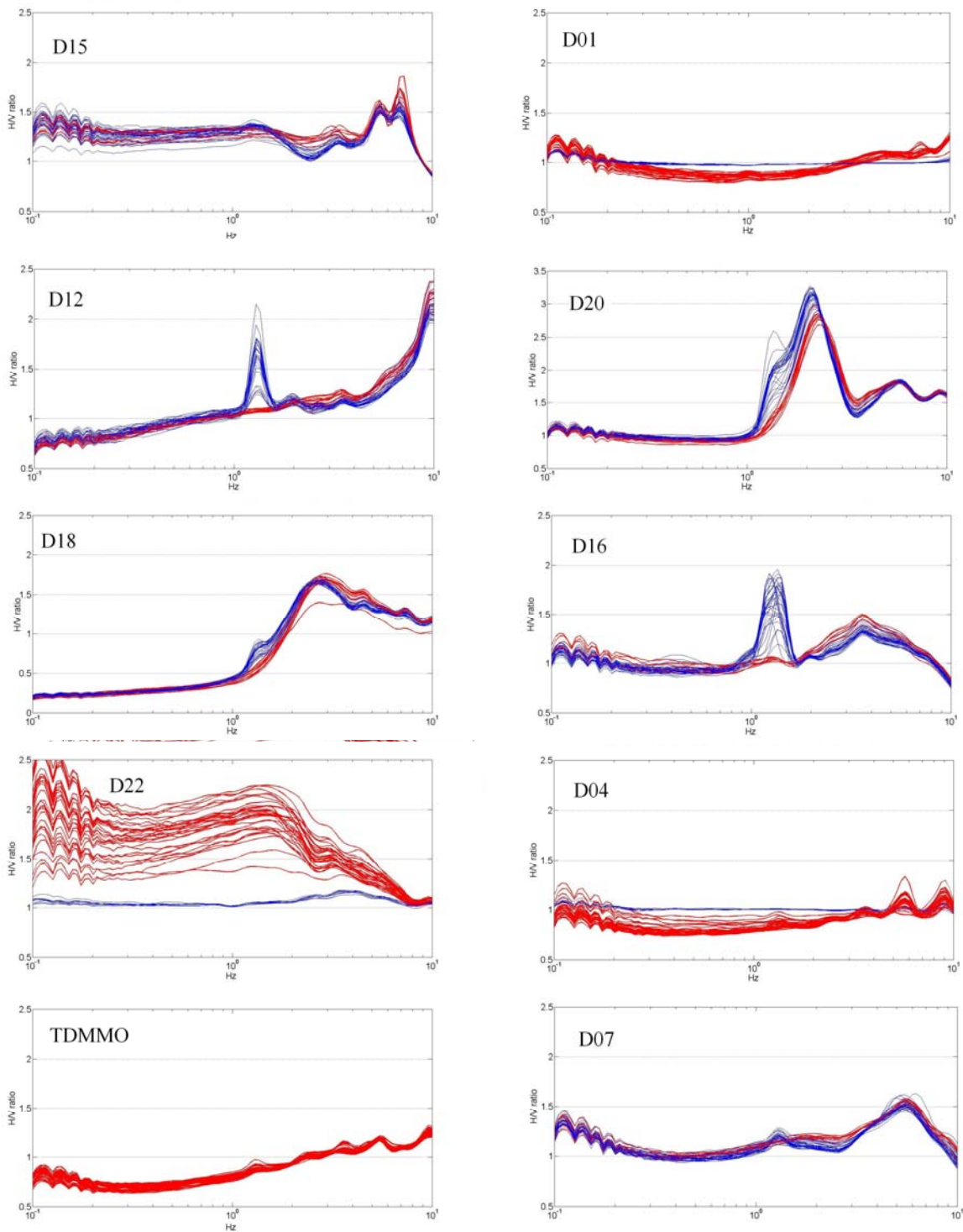
$$f(\omega) = H(\omega)/V_s(\omega), \quad (1)$$

که f تابع بزرگ‌نمایی، H طیف فوریه مولفه افقی و V طیف فوریه مولفه قائم است. این پردازش‌ها با استفاده از نرم‌افزار Geopsy و انتخاب پارامترهای مناسب که براساس مشاهده بصری طیف، تعیین شده به انجام رسیده است. در پردازش روی نوفه‌ها به منظور مقایسه نتایج حاصل، از پارامترهای مشابه در همه ایستگاه‌های شتاب‌نگاری استفاده شده است. این پارامترها شامل انتخاب طول پنجره زمانی نوفه به میزان ۴۰ ثانیه با همپوشانی ده درصد، روش صاف کردن طیف فوریه با استفاده از تابع Konno&Ohmachi با ثابت ۳۰ درصد و اعمال یک cosine taper ده درصد است. پس از اعمال این پردازش‌ها بر طیف فوریه هر مولفه نسبت طیفی بین آنها محاسبه و در شکل ۳ نشان داده شده است. در این شکل تابع‌های بزرگ‌نمایی برای دو حالت محاسبه شده است. در حالت اول تابع بزرگ‌نمایی در غیاب نوفه صنعتی (خط‌های سرخ‌رنگ) و با استفاده از نوفه‌های ثبت شده در روزهای تعطیل محاسبه شده است. در حالت دوم تابع‌های بزرگ‌نمایی با حضور نوفه‌های صنعتی (خط‌های آبی‌رنگ) و برای نوفه‌های ثبت شده در روزهای معمول کاری محاسبه شده است. مقایسه این نتایج برای حالت بدون نوفه صنعتی تطابق خوبی با تحقیقات پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله در مورد شهر تهران نشان میدهد که بیانگر دقت و صحت نتایج برآورد توابع بزرگ‌نمایی میباشد. (قایم‌مقامیان و همکاران، ۱۳۸۹). بعلاوه مقایسه این تابع‌ها برای حالت با و بدون نوفه صنعتی نشان می‌دهد که در غیاب نوفه‌های صنعتی در ساختمانهایی با نوع خاک سفت مانند D01، D04 و D15 تفاوت فاحشی مشاهده نمی‌شود. حال آنکه در ساختمانهایی مانند D12، D16 و D18 بسامد غالب

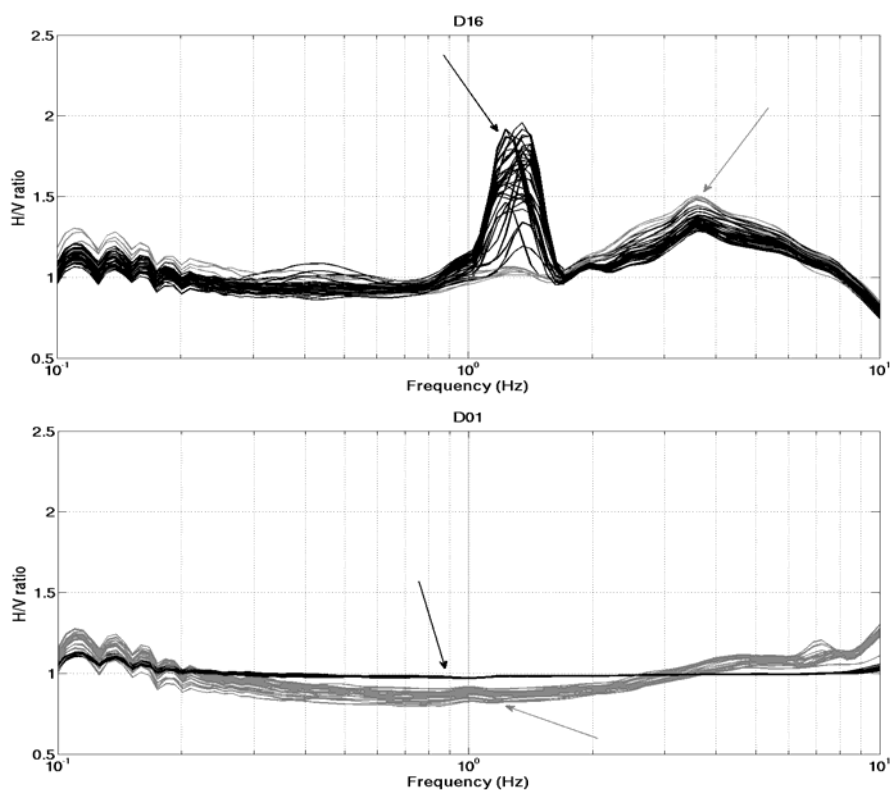
آنها در تعیین اثرهای ساختمانی نیز مشخص شود. این امر با توجه به نقش مهم اثرهای ساختمانی در تحقیقات مهندسی زلزله و لزوم تعیین ضرایب بزرگ‌نمایی دقیق و قابل اطمینان برای هر ساختمانی، امری اجتناب‌ناپذیر است.

۴ محاسبه تابع بزرگ‌نمایی

به‌طور کلی خسارت‌های ناشی از زمین‌لرزه به عوامل متعددی از جمله بزرگی، فاصله کانون، ویژگی‌های چشمه، اثرهای ساختمانی و پاسخ سازه‌ای مناطق گوناگون بستگی دارد. پراکندگی خسارت در زمین‌لرزه‌های متفاوت اهمیت تاثیر اثر ساختمانی بر مشخصات حرکات توانمند زمین را تأیید می‌کند. در دهه‌های گذشته این اثر اغلب به‌صورت نظری مورد بررسی قرار گرفته و روش‌های عددی گوناگونی برای بررسی اثر آن بر مشخصات حرکات توانمند زمین معرفی شده است. در این بین استفاده از روش نسبت طیفی در حوزه بسامد به علت سادگی تحلیل، در مهندسی زلزله کاربرد بیشتری دارد. یکی از این روش‌های نسبت طیفی همان‌طور که در مقدمه نیز اشاره شد، روش نسبت طیف مولفه‌های افقی به قائم است که اولین بار نوگوشی و ایگاراشی (۱۹۷۰)، آن را عرضه کرد و سپس از سوی ناکامورا (۱۹۸۹) به‌منظور بررسی اثر ساختمانی با استفاده از نوفه‌ها به کار رفت. در تحلیل ناکامورا (۱۹۸۹)، امواج سطحی رایلی درحکم عامل ایجاد نوفه‌ها معرفی و فرض شده است که چشمه‌های سطحی نظیر ترافیک، کارخانه‌ها و مانند آن، امواج سطحی تولید می‌کنند و بیشترین چشمه ایجاد امواج نوفه هستند. در این تحقیق تابع‌های بزرگ‌نمایی هر ساختمانی با استفاده از روش نسبت طیفی مولفه افقی به قائم نوفه‌ها در حوزه فرکانس محاسبه شده است. در این روش همان‌گونه که گفته شد؛ نسبت طیفی مولفه افقی به مولفه قائم نشان‌دهنده ضرایب بزرگ‌نمایی در بسامدهای



شکل ۳. برآورد اثر ساختگاه برای ۴۰ روز میکروتروموری ثبت شده در ایستگاه‌های شتاب‌نگاری (خط‌های آبی‌رنگ: در حضور نوفه صنعتی. خط‌های سرخ‌رنگ: در غیاب نوفه صنعتی).

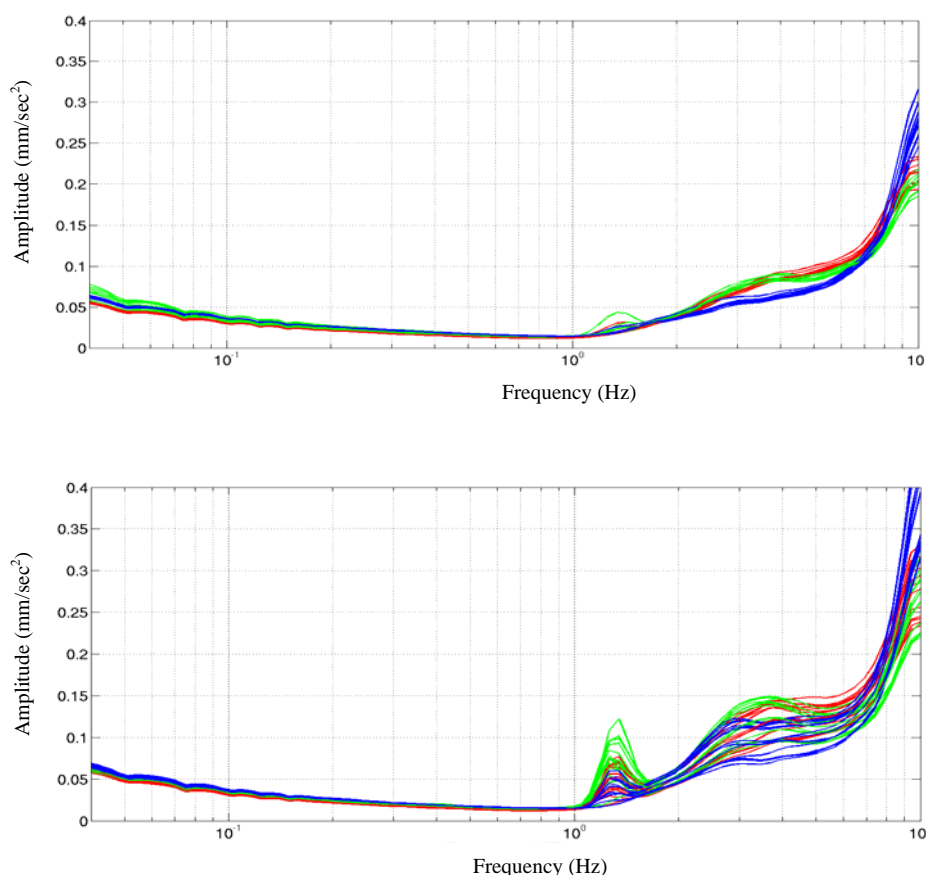


شکل ۴. برآورد اثر ساختگاه برای ۴۰ روز میکروترومور ثبت شده در ایستگاه‌های شتاب‌نگاری (خط‌های مشکی‌رنگ: در حضور نوفه صنعتی. خط‌های طوسی‌رنگ: در غیاب نوفه صنعتی). پیکان سیاه‌رنگ نشان‌دهنده بزرگ‌ترین ضریب بزرگ‌نمایی در حضور نوفه‌های بسامدی و پیکان طوسی‌رنگ نشان‌دهنده بیشینه اثر ساختگاه در غیاب نوفه‌های صنعتی است.

۵ بررسی منشأ و اثر نوفه‌های صنعتی

تهران شهری صنعتی است و به علت وجود کارخانه‌های صنعتی در نقاط گوناگون آن تحت تأثیر نوفه‌های صنعتی قرار دارد. به منظور بررسی دقیق‌تر نقش این نوفه‌های صنعتی، ضرایب بزرگ‌نمایی محاسبه شده در دو ایستگاه D01 (در شمال شهر) و D16 (در جنوب شهر)، به صورت جداگانه در شکل ۴ نشان داده شده است. در ایستگاه شتاب‌نگاری D01 که روی سنگ نصب شده شکل تابع بزرگ‌نمایی در غیاب و حضور نوفه صنعتی یکسان بوده و بیانگر کاهش این اثر در ساختگاه‌های سنگی و یا دوری چشمه نوفه از این ایستگاه است. حال آنکه در ایستگاه D16 که بر روی رسوبات نصب شده قله نوفه در بسامد

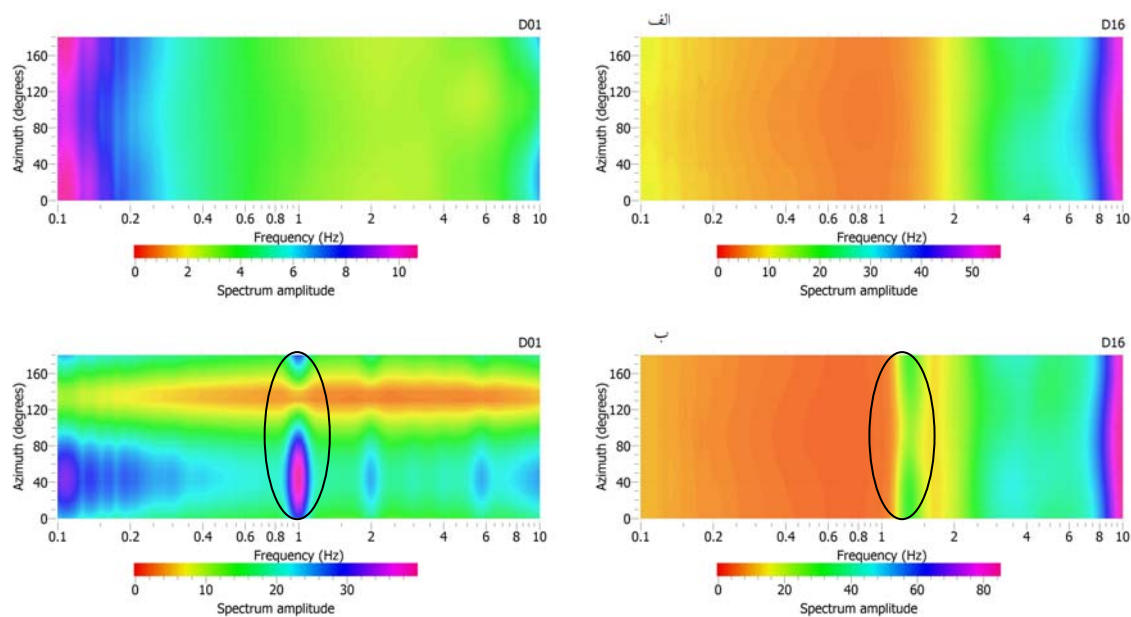
ساختگاه و ضریب بزرگ‌نمایی به شدت تحت تأثیر نوفه صنعتی است؛ به طوری که در ساختگاه D16 بسامد غالب با و بدون نوفه به ترتیب مقادیر $1/3$ و $3/8$ هرگز را نشان می‌دهد. همچنین مقادیر ضریب بزرگ‌نمایی نیز در حالت‌های با و بدون نوفه مقادیر $1/9$ و $1/5$ است. بدین ترتیب وجود نوفه قوی سطحی که در لایه‌های زیرسطحی انتشار نمی‌یابد و عملاً فاقد اثرهای ساختگاهی است، نه فقط مقدار بسامد غالب بلکه مقدار ضریب بزرگ‌نمایی ساختگاه را نیز متأثر می‌سازد و به نتایج گمراه‌کننده‌ای در محاسبه پارامترهای بزرگ‌نمایی ساختگاه منجر می‌شود. بعلاوه، این امر ساختگاه‌های نرم را که در محاسبه پارامترهای بزرگ‌نمایی مهم‌ترند را بیشتر متأثر می‌سازد.



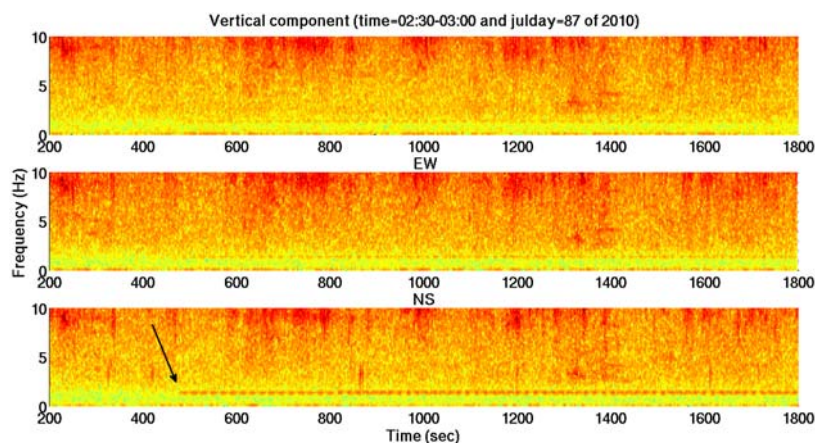
شکل ۵. طیف فوریه ۴۰ روزه میکروترمور شتاب در D16 در غیاب نوفه‌های صنعتی (بالا) و در حضور نوفه‌های صنعتی (پایین). خط‌های آبی، سرخ و سبز به ترتیب نشان‌دهنده طیف فوریه برای مولفه‌های قائم، شمالی-جنوبی و شرقی-غربی است.

داده شده که بیانگر وجود یک نوفه صنعتی با دامنه قوی در بسامد حدود $1/3$ هرتز در ایستگاه D16 (در جنوب شهر تهران، میدان بهشت تهران) و یک نوفه صنعتی با بسامد پایین‌تر از ۱ هرتز در ایستگاه D01 (در شمال شهر تهران، پارک جمشیدیه) است. به منظور یافتن زمان دقیق و علت این تغییرات در حوزه تبدیل فوریه زمان کوتاه (Short Time Fourier Transform) از نگاشت ثبت شده در ایستگاه D16 استفاده شده است. در این پردازش، با استفاده از پنجره زنگوله‌ای دامنه‌های بسامدی متفاوت نوفه در طول زمان پایش شده تا بتوان به راحتی زمان ظهور و ناپدید شدن نوفه‌های صنعتی را مشاهده کرد. در شکل ۷،

$1/3$ هرتز با مقدار $1/9$ مشخص است که این امر نیز نشانه حضور چشمه نوفه در نزدیکی این ایستگاه و تأثیر فاحش آن در ساختگاه‌های رسوبی است. با توجه به اینکه دامنه نوفه در نسبت طیفی ایستگاه‌ها از شمال به جنوب کاهش می‌یابد، می‌توان این‌گونه نتیجه‌گیری کرد که منشأ این نوفه‌ها در جنوب تهران است و مقدار آن با توجه به فاصله به سمت شمال کاهش می‌یابد. در شکل ۵ طیف فوریه داده‌های ثبت شده در ایستگاه شتاب‌نگاری D16 نشان داده شده است و در شکل ۶ توزیع آزمون‌های این نوفه‌های صنعتی در دو ایستگاه ذکر شده برای نوفه‌های در غیاب نوفه صنعتی و نوفه‌های با حضور نوفه‌های صنعتی نشان



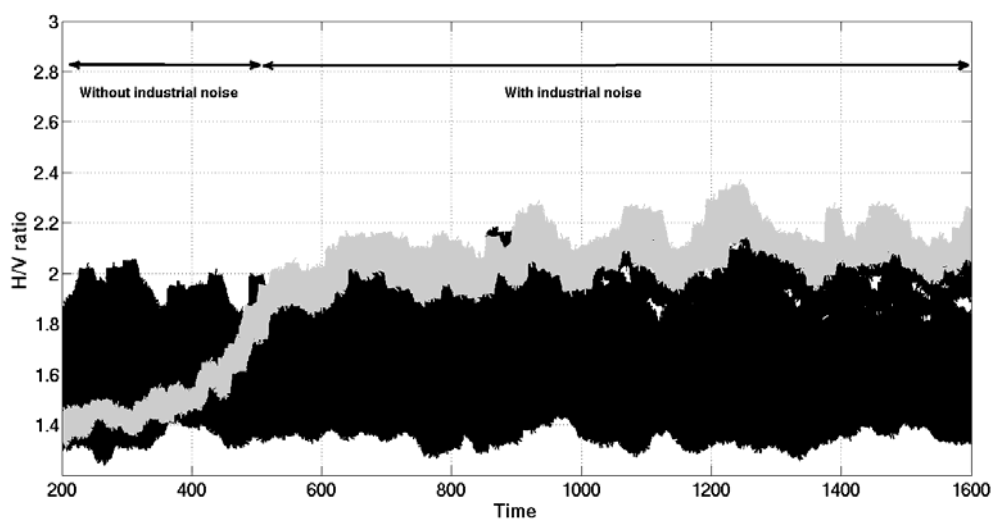
شکل ۶. (الف) توزیع آزیموتی محتویات بسامدی ۲۴ ساعته در غیاب نوفه‌های صنعتی و (ب) در حضور نوفه‌های صنعتی در دو ایستگاه D01 و D16. بیضی‌ها نمایانگر بسامدهای مربوط به نوفه‌های صنعتی است.



شکل ۷. تبدیل فوری زمان کوتاه روی رکورد ۱۶۰۰ ثانیه‌ای، محل شروع ایجاد نوفه صنعتی در روی مولفه قائم نشان داده شده است. پیکان سیاه‌رنگ در شکل پایین زمان شروع ایجاد نوفه‌های صنعتی را نمایش می‌دهد.

تابع‌های H/V در طول نگاشت برای دامنه‌هایی با بسامدهای متفاوت تجزیه و محاسبه شد (شکل ۷). به عبارت دیگر این شکل نشان‌دهنده تغییر ضریب بزرگ‌نمایی ساختگاه در بسامدهای گوناگون در طول نگاشت است. در شکل ۸ تغییرات دامنه در بسامدهای ۱/۲ و ۱/۴ هرتز نشان داده شده است (محدوده طوسی‌رنگ).

لحظه شروع فعالیت کارخانه صنعتی در طول یک رکورد ۱۴۰۰ ثانیه‌ای در ایستگاه D16 با علامت پیکان مشکی نمایش داده شده است که به وضوح وجود این نوفه مزاحم را در گستره شهر تهران (به‌ویژه جنوب تهران)، نشان می‌دهد. به منظور بررسی تأثیر این نوفه صنعتی بر ضریب بزرگ‌نمایی ساختگاه، مقادیر دامنه بزرگ‌نمایی



شکل ۸. نسبت طیفی مولفه قائم به افقی برای ثبت ۱۴۰۰ ثانیه‌ای نشان داده شده در شکل ۶، خط‌های طوسی‌رنگ اثرهای ساختمانی را در دامنه‌های بسامدی ۱/۲ تا ۱/۴ هرتز نشان می‌دهد.

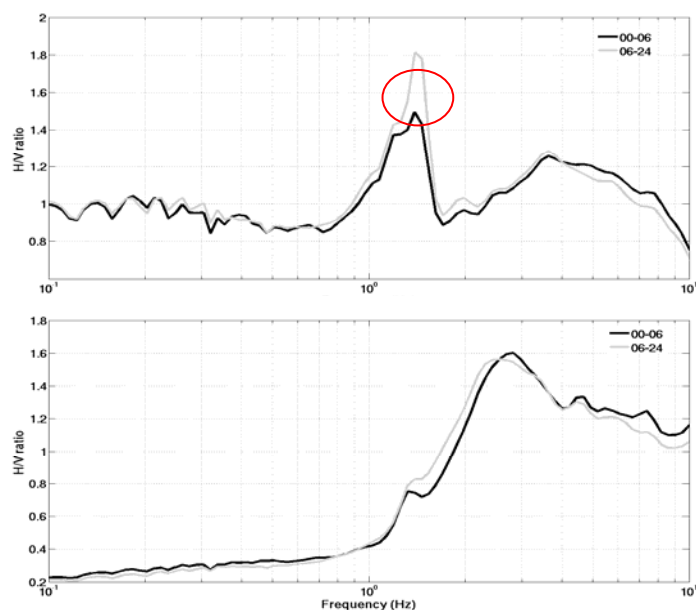
خاک افزوده می‌شود (شکل ۱). در این تحقیق ضرایب بزرگ‌نمایی ساختمانی مربوط به ده ایستگاه شتاب‌نگاری سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران با استفاده از روش نسبت طیفی مولفه افقی به قائم امواج نوفه محاسبه شد. مقایسه بسامد غالب و ضریب بزرگ‌نمایی استخراج شده از تابع‌های بزرگ‌نمایی محاسبه شده بیانگر تفاوت فاحش این مقادیر برای نوفه ثبت شده در روزهای کاری (حضور نوفه صنعتی) و روزهای آرام (در غیاب نوفه صنعتی) است. بعلاوه مقایسه پارامترهای بزرگ‌نمایی ساختمانی با نتایج قبلی حاصل از مطالعه امواج زلزله و برداشتهای ژئوفیزیکی و ژئوتکنیکی (قایم‌مقیان و همکاران ۱۳۸۹) مویددقت مناسب در برآورد تابع‌های بزرگ‌نمایی محاسبه شده می‌باشد. بدین ترتیب بررسی بیشتر روی منشأ این نوفه‌ها، محدوده بسامدی و میزان تأثیر آنها بر دامنه به کمک تحلیل در حوزه بسامد-زمان به انجام رسید. منشأ این نوفه‌ها اغلب کارخانه‌های صنعتی واقع در جنوب تهران بوده است. این امر برآورد اثرهای ساختمانی در این مناطق را که به واسطه ضخامت و جنس لایه‌های سطحی رسوبات سطحی فاحش است، با مشکل

در این شکل به وضوح افزایش دامنه به محض حضور نوفه صنعتی به میزان تقریبی دو برابر در گستره بسامدی ۱ تا ۱/۵ هرتز مشاهده می‌شود. این امر باعث تشخیص اشتباه بسامد غالب ساختمانی که بر پایه بزرگ‌ترین دامنه تابع بزرگ‌نمایی است، می‌گردد.

به‌علاوه در صورتی که بسامد غالب ساختمانی در محدوده بسامدی ۱ تا ۱/۵ هرتز واقع شود، میزان بزرگ‌نمایی ساختمانی دست بالا برآورد خواهد شد. لذا در تفسیر اثرهای ساختمانی در تهران باید به اثر نوفه صنعتی و بازه بسامدی که با آن متأثر می‌شود، توجه خاص مبذول شود تا به نتایج گمراه‌کننده‌ای منجر نگردد.

۶ نتیجه‌گیری

تهران شهری کوهپایه‌ای است که روند تغییرات ضخامت رسوبات از شمال به جنوب و ساختار لایه‌های زیرسطحی آن، باعث اهمیت و پیچیدگی برآورد اثرهای ساختمانی در نقاط گوناگون شهر می‌شود. مناطق شمالی شهر روی خاک سخت دانه‌درشت قرار گرفته است و به سمت جنوب بر ضخامت رسوبات، ریزدانه‌گی و میزان نرمی



شکل ۹. نسبت طیفی مولفه قائم به افقی، خط طوسی رنگ اثرهای ساختگاه را در ساعت ۶ صبح تا ۲۴ نیمه شب و خط مشکی این نسبت را از ساعت ۲۴ نیمه شب تا ۶ صبح نشان می‌دهد. دایره سرخ رنگ در هر شکل نشان دهنده ضریب بزرگ‌نمایی ساختگاه است.

تشکر و قدردانی

از سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران که داده‌های موردنیاز این تحقیق را در اختیار نویسندگان این مقاله قرار دادند، کمال تشکر و قدردانی به عمل می‌آید. از سردبیر مجله دکتر محب‌الحججه و داوران محترم که در بالا بردن کیفیت مقاله با ارائه نظرات خود نگارندگان این مقاله را یاری نمودند؛ تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

بریریان، م.، قریشی، م.، ارژنگ روش، ب.، و مهاجر اشجعی، ا.، پژوهش و بررسی ژرف‌نوزمین‌ساخت و خطر زمین‌لرزه-گسلش در گستره تهران و پیرامون: گزارش شماره ۵۶ سازمان زمین‌شناسی کشور، ۱۳۷۱، تهران.
 قائم‌مقامیان م.ح.، امینی حسینی ک. و گواهی ن. تعیین ضرایب بزرگ‌نمایی ساختگاهی و استخراج توابع شکنندگی و روابط برآورد تلفات انسانی در اثر زلزله

مواجهه مینماید. لذا در جنوب شهر تهران، بایستی این تحقیقات با دقت فراوان و در غیاب این نوفه‌های صنعتی صورت پذیرد. محدوده بسامدی نوفه‌های صنعتی بین ۱ تا ۱/۵ هرتز و دامنه آنها تقریباً بین ۱/۵ تا ۲/۲ متغیر است. باید توجه شود که در این تحقیق، برآورد ضرایب بزرگ‌نمایی براساس کل طول نگاهشت و بدون تفکیک نوفه‌های شبانه و روزانه صورت گرفته است؛ چرا که تأثیر اکثر عوامل ایجاد نوفه در سطح شهر تهران (مثلاً عامل ترافیک)، همیشگی است. همان‌طور که در شکل ۹ نیز نشان داده شده است؛ دامنه مربوط به ضریب بزرگ‌نمایی در دو ایستگاه D16 و D18 در بخش‌های پُرتراфик شهر تهران در ساعت پر تردد و کم تردد تغییرات محسوسی را نشان نمی‌دهد. به‌طور کلی نتایج به‌دست آمده با استفاده از میکروترمورها در روش نسبت طیفی مولفه‌های افقی به قائم، به نوفه‌های صنعتی حساس است و منجر به ظاهر شدن دامنه‌های غیر واقعی می‌شود که ممکن است به‌اشتباه در حکم اثر ساختگاه عرضه شود.

- Konn, K., and Ohmachi, T., 1998, Ground-motion characteristics estimated from spectral ratio between horizontal and vertical components of microtremor: *Bull. Seism. Soc. Am.*, **88-1**, 228-241.
- Lermo, J., Chavez-Garcia FJ., 1993, Site effect evaluation using spectral ratios with only one station: *Bull. Seism. Soc. Am.*, **83**, 1574-1594.
- Lermo, J., Chavez-Garcia F. J., 1994, Are microtremors useful in site response evaluation: *Bull. Seism. Soc. Am.*, **4**(5), 1350-1364.
- Nakamura, Y., 1989, A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface: *Fall 1989 Quarterly Report of RTRI*, **30**(1), 25-33.
- Nogoshi, M., and Igarashi, T., 1970, On the propagation characteristics of microtremor: *Journal of Seismological Society of Japan*, **23**, 264-280.
- Tsuboi, S., Saito, M. and Ishihara, Y., 2001, Verification of horizontal-to-vertical spectral ratio technique for estimation of site response using borehole seismographs: *Bull. Seism. Soc. Am.*, **74**, 499-510.
- برای ساختمانهای شهر تهران، پژوهشگاه بین‌المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله و سازمان مدیریت بحران شهر تهران، ۱۳۸۹، تهران
- Aki, K., 1988, Local site effects on strong ground motion, *Proc. 2nd Conf. on Earth. Eng. and Soil Dyn.*, 103-155.
- Englance, M., Contribution a la Geologie, Geomorphologie, Hydrogeologie de la Region de Tehran (Iran), These de doctoral, center D'Etude et de Recherche Hydrogeologiques, Montpellier, France.
- Ghayamghamian, M. R., Kawakami, H., 1996, On the characteristics of non-linear soil response and dynamic soil properties using vertical array data in Japan: *J. Earthq. Eng. Struc. Dyn.*, **25**, 857-870.
- Ghayamghamian, M. R., and Motosaka, M., 2003, The effects of torsion and motion coupling in site response estimation: *J. Earthq. Eng. Struc. Dyn.*, **32**, 691-709.
- Ghayamghamian, M. R., 2005, Segmental cross-spectrum as a new technique in site response estimation using spectral ratio analysis, *Journal of Earthquake Engineering*, **9**(2), 247-264.