

# مطالعه اثر ساختگاه در شهرستان شهرضا با استفاده از اندازه‌گیری مایکروترمور و اندیس آسیب‌پذیری نازی نوروژی<sup>۱\*</sup>

<sup>۱</sup> کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۰۳/۱۷

## چکیده

با نگرشی بر زمین‌لرزه‌های مخرب روی داده در ایران و جهان، پتانسیل تأثیرگذاری زمین‌شناسی سطحی خاک بر جنبش نیرومند زمین و خرابی‌های ناشی از زمین‌لرزه که اصطلاحاً اثرات ساختگاهی نامیده می‌شود، به‌خوبی مشخص گردیده است. مطالعه حاضر بخشی از مطالعات ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای شهرستان شهرضا می‌باشد. در این مطالعه بیشتر به بررسی اثرات ساختگاهی با استفاده از اندازه‌گیری‌های مایکروترمور پرداخته شده است و آنالیز داده‌های مایکروترمور نیز با استفاده از روش نسبت طیفی مولفه افقی به قائم (H/V) انجام پذیرفته است. بر همین اساس، در ۶۴ نقطه از شهر اندازه‌گیری‌های مایکروترمور با طول رکوردهای ۱۰ تا ۱۵ دقیقه انجام شد. در انتها نتایج به صورت نقشه‌های توزیع پریود طبیعی ساختگاه، ضریب تقویت آبرفت و اندیس آسیب‌پذیری در محیط GIS برای گستره شهر ارائه شده است. محاسبات نشان داد که پریود طبیعی در بازه ۰/۰۴ تا ۰/۳۸ متغیر می‌باشد. همچنین ضریب تقویت آبرفت از ۱/۲۱ تا ۶/۸۸ متغیر است. نتایج ارتباط نسبتاً خوبی را با تغییرات مورفولوژی نشان داد. به این ترتیب که هرچه به سمت کوه‌های اطراف شهر پیش می‌رویم پریود طبیعی کاهش پیدا می‌کند و برعکس هرچه به سمت مرکز دشت پیش می‌رویم پریود طبیعی افزایش پیدا می‌کند. نتایج این مطالعه می‌تواند در کنار مطالعات تفصیلی، در برنامه ریزی‌های کلان شهری، برای گسترش شهر، برآورد ریسک لرزه‌ای و مدیریت بحران ناشی از یک زمین‌لرزه احتمالی به کار گرفته شود.

**کلیدواژه‌ها:** مایکروترمور، اثر ساختگاه، اندیس آسیب‌پذیری، ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای، شهرستان شهرضا.

\*نویسنده مسئول: نازی نوروژی

E-mail: n.norouzi83@gmail.com

## ۱- پیش‌نوشتار

بلایای طبیعی همچون زمین‌لرزه و ناپایداری‌های زمین یکی از مخرب‌ترین عواملی است که همواره جوامع بشری را تهدید می‌کند. ایران یکی از کشورهای لرزه‌خیز جهان است و تاکنون شاهد زمین‌لرزه‌های بسیار بزرگ و مخربی بوده است. از طرفی جمعیت رو به رشد و احداث سازه‌های مهم و ساختمان‌های مرتفع، خسارت‌های ناشی از این زمین‌لرزه‌های بزرگ را به‌ویژه در شهرهای بزرگ افزایش می‌دهد. یکی از مسائل مهم، در ارتباط با تخریب ساختمان‌ها، رفتار قشر خاک قرار گرفته بر روی سنگ بستر است. با نگرشی بر زمین‌لرزه‌های مخرب روی داده در ایران و جهان همانند زمین‌لرزه Michoacan مکزیک (۱۹۸۵)، زمین‌لرزه Loma Prieta کالیفرنیا (۱۹۸۹)، زمین‌لرزه منجیل ایران (۱۹۹۰)، زمین‌لرزه Kobe ژاپن (۱۹۹۵) و زمین‌لرزه Kocaeli ترکیه (۱۹۹۹)، پتانسیل تأثیرگذاری زمین‌شناسی سطحی خاک بر جنبش نیرومند زمین و خرابی‌های ناشی از زمین‌لرزه که اصطلاحاً اثرات ساختگاهی نامیده می‌شود، به‌خوبی مشخص شده است. بنابراین تعیین اثر ساختگاه به عنوان یکی از مهم‌ترین مراحل است که باید در مطالعات ریزپهنه‌بندی و طراحی سازه‌های مقاوم در برابر زمین‌لرزه و همچنین پیشگیری از رخداد خسارات شدید ناشی از اثرات ثانویه رویداد زمین‌لرزه انجام گیرد.

از روش‌های مؤثر در انجام مطالعات اثرات ساختگاهی در ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای، می‌توان اندازه‌گیری ارتعاشات محیطی (مایکروترمورها) در نقاط مختلف ناحیه مورد مطالعه را نام برد. استفاده از اندازه‌گیری ارتعاشات محیطی یا روش Nakamura در مطالعات تعیین اثر ساختگاه، به علت سادگی و اقتصادی بودن بسیار مورد توجه قرار گرفته است. مطالعات بسیاری اثبات نموده است که اندازه‌گیری‌های مایکروترمور، روشی مناسب برای بررسی اثرات ساختگاه می‌باشد (Hinzen et al., 2004; Haghshenas et al., 2008; Bonnefoy-Claudet et al., 2006; Bard, 2008; Fah et al., 2001; Seht & Wohlenberg, 1999). و با استفاده صحیح از این روش می‌توان نواحی گسترده‌ای را در مدت زمان کوتاهی بررسی نمود (Mojarab et al., 2008).

در این مطالعه جهت بررسی اثرات ساختگاه شهرستان شهرضا از روش نسبت طیفی

## ۲- اثرات ساختگاه و عوامل مؤثر بر آن

مؤلفه افقی به قائم (H/V) استفاده شده است. همچنین با توجه به گسترش فعالیت‌های عمرانی و نیاز بیش از پیش به سازه‌ها و فضاهای ایمن در برابر زمین‌لرزه، در گزارش حاضر به انتخاب محل ساخت و سازه‌های جدید توسط اندیس آسیب‌پذیری پرداخته شده است. برای به‌دست آوردن اندیس آسیب‌پذیری در منطقه مورد مطالعه از برداشت‌های مایکروترمور استفاده شد.

با مطالعه اثر خاک در میزان خسارت ناشی از زمین‌لرزه، مشخص شد که رفتار خاک می‌تواند به شکل‌های مختلف، عامل مهمی در بروز خسارات باشد. یکی از مهم‌ترین آنها، پدیده تشدید است (Bard, 1999; Field & Jacob, 1993). وقتی پریود طبیعی ساختگاه با پریود طبیعی سازه یکی باشد، در این صورت حرکات ناشی از زمین‌لرزه تقویت شده و با شتاب بیشتری بر سازه اعمال می‌شود. ساختگاه افزون بر تشدید، می‌تواند سبب افزایش طول مدت لرزش و تغییر محتوای بسامدی آن نیز بشود. از دیگر عوامل مهم در میزان خسارات ناشی از زمین‌لرزه، پریود غالب و ضریب بزرگنمایی ساختگاه است. پریود غالب ساختگاه معمولاً پریود معادل بالاترین نقطه اوج روی طیف شتاب در نظر گرفته می‌شود و از نظر فیزیکی علت اصلی پریود غالب و بزرگنمایی شدت زمین‌لرزه‌ها در رسوبات نرم، گیرافتادن امواج لرزه‌ای در حد فاصل بین رسوبات و سنگ بستر زیرین می‌باشد (Nakamura, 1989; Nogoshi & Igarashi, 1970; Lermo & Chavez-Garcia, 1994; Yamanaka, 1993). از عوامل مؤثر بر رفتار ساختگاه می‌توان خمیرسانی خاک، جنس و ستبرای خاک، نقش لایه‌های سطحی نرم و توپوگرافی سطحی را نام برد. اثرات ساختگاهی ناشی از وجود رسوبات نرم، گاه می‌تواند 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 خمیرسانی بالاتر، رفتار تنش و کرنش پریودیک خطی بیشتری نسبت به خاک‌هایی با خمیرسانی کمتر دارند (Nakamura, 1989). به ازای یک مقدار مشخص از شتاب، سازه‌های احداث شده بر روی آبرفت‌های سست

را دارد، رابطه (۱) به عنوان پریرود ساختگاه با یک طیف فرکانسی مشخص معرفی گردید:

$$S_E = \frac{H_s}{H_b} \quad (1)$$

که در آن  $H_s$  تبدیل فوریه سریع مؤلفه افقی در سطح و  $H_b$  تبدیل فوریه سریع مؤلفه افقی در سنگ بستر است. از آنجا که در مؤلفه عمودی سنگ بستر تقویت چندانی نداریم می‌توان طیف چشمه را به صورت زیر تعریف کرد:

$$A_s = \frac{V_s}{V_b} \quad (2)$$

$V_s$  و  $V_b$  تبدیل فوریه سریع مؤلفه های عمودی نگاشت ثبت شده در روی زمین و سنگ بستر هستند. برای حذف اثرات ناشناخته چشمه از روی تقویت خاک، با نرمال کردن تقویت خاک نسبت به اثرات چشمه به رابطه زیر می‌رسیم:

$$S = \frac{S_E}{A_s} = \frac{\frac{H_s}{V_s}}{\frac{H_b}{V_b}} \quad (3)$$

از آنجا که مؤلفه‌های مایکروترمورها در تمام جهات در سنگ بستر یکی فرض می‌شوند ( $H_b/V_b=1$ ) (Nakamura, 2000)، رابطه (۳) به صورت زیر خلاصه می‌شود:

$$S = \frac{H_s}{V_s} \quad (4)$$

بنابراین برای سادگی در روش برداشت داده‌ها می‌توان مؤلفه‌های افقی و عمودی را در سطح اندازه‌گیری کرد و نیازی به برداشت در سنگ بستر نیست.

#### ۴- اندیس آسیب پذیری لرزه‌ای زمین

پژوهشگران بسیاری برای تعیین اثر ساختگاه از مایکروترمورها استفاده کرده‌اند و در مطالعات خود پریرود طبیعی زمین را محاسبه و به صورت نقشه‌های ریزپهنه‌بندی ارائه داده‌اند. در تمام این مطالعات ضریب بزرگنمایی و پریرود طبیعی به صورت جداگانه مورد بررسی قرار گرفته است. نکته قابل توجه در بیشتر مطالعات انجام شده این است که لزوماً پریرود طبیعی با ضریب بزرگنمایی همخوانی ندارد. بنابراین برای این که بتوانیم نتیجه بهتری را از مطالعه مایکروترمورها بگیریم از هر دو پارامتر استفاده می‌کنیم (Nakamura, 2000). Nakamura (1996) رابطه‌ای ارائه داد که توسط آن هر دو پارامتر با هم در نظر گرفته می‌شود. البته Nakamura این رابطه را با نام اندیس آسیب پذیری برای برآورد تخریب حاصل از زمین‌لرزه در سطح یک ساختگاه معرفی کرد. بنابراین هرچند که ضریب بزرگنمایی و پریرود طبیعی یک ساختگاه نقش مهمی را در انتخاب ساختگاه ایمن برای ساخت و ساز ارائه می‌کنند، اما روش اندیس آسیب‌پذیری سعی بر آن دارد تا از هر دوی این پارامترها برای تفکیک مناطق با آسیب‌پذیری بالا و پایین استفاده کند.

اگر دگرشکلی که در اثر یک زمین‌لرزه در سطح زمین اتفاق می‌افتد را به صورت یک مدل نشان دهیم، می‌توانیم تنش برشی را در سطح زمین بعد از زمین‌لرزه محاسبه کنیم (شکل ۱). در این مدل‌سازی، ساختگاه به صورت یک مدل دوحشی متشکل از سنگ بستر و ستبرای خاک مدل شده است.

$$\gamma = A_g \times \frac{d}{h} \quad (5)$$

$h$ : ستبرای خاک

$d$ : جابه‌جایی سطحی

$A_g \times d$ : جابه‌جایی سطحی ضرب در ضریب بزرگنمایی

$A_g$ : ضریب بزرگنمایی ساختگاه

$\gamma$ : تنش برشی

یا آبرفت‌های با ستبرای زیاد، بیشتر از سازه‌های احداث شده بر روی سنگ بستر، تحت تأثیر نیروهای لرزه‌ای قرار می‌گیرند (Nogoshi & Igarashi, 1971). افزایش ستبرای خاک، ابتدا موجب افزایش ناگهانی شتاب سطحی می‌شود، به گونه‌ای که در حالت تشدید به بیشترین حد خود می‌رسد و پس از آن، افزایش بیشتر ستبرای سبب کاهش آرام بیشینه شتاب سطحی می‌شود. این در حالی است که افزایش ستبرای ستونی خاک، موجب افزایش پریرود طبیعی خاک می‌شود (Nakamura, 1997; Nakamura, 1989; Dobry et al., 1976; Bard, 1999). همچنین توپوگرافی منطقه می‌تواند اثر مثبت یا منفی بر روی پاسخ ساختگاه داشته باشد که نسبت به نوع توپوگرافی لازم است این اثرات مورد بررسی و تفسیر قرار گیرند.

#### ۳- روش‌های تعیین اثرات ساختگاه

به‌طور کلی اثرات ساختگاه در زمین‌لرزه را به دو روش تئوری یا تجربی می‌توان بررسی نمود. روش تجربی مبتنی بر رکوردها و اندازه‌گیری‌های مایکروترمور (لرزه‌های خفیف) می‌باشد و روش تئوری بر پایه اطلاعات ژئوتکنیکی موجود استوار است که عمدتاً با روش‌های عددی صورت می‌گیرد (Singh, 1992; Yamanaka, 1993; Lu et al., 1992; Chavez- Garcia et al, 1990). در این مطالعه برای تعیین اثرات ساختگاه از اندازه‌گیری‌های مایکروترمور استفاده شده است.

مایکروترمورها امواج خفیفی هستند که ضمن عبور از درون لایه‌های خاک، تحت تأثیر ویژگی‌های دینامیکی آن قرار می‌گیرند. یکی از فرضیات اساسی در استفاده از مایکروترمورها برای برآورد 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 (Nakamura, 1997; Nakamura, 1989; Bard, 1999). زمانی که پریرود طبیعی یک سازه با پریرود طبیعی ساختگاه برابر می‌شود، پدیده تشدید صورت می‌گیرد که سبب خسارت زیاد و یا تخریب سازه می‌شود. بنابراین با مطالعه مایکروترمور و تهیه نقشه ریزپهنه‌بندی لرزه‌ای می‌توان تصحیحاتی در خصوص مکان ساخت و ساز انجام داد (مجرب و همکاران، ۱۳۸۷؛ مجرب و همکاران، ۱۳۸۶).

از روش‌های تحلیل مایکروترمورها، روش نسبت طیفی Nakamura می‌باشد. این روش نخستین بار توسط (Nogoshi & Igarashi (1970 & 1971) ارائه و توسط Nakamura (1989) استفاده از آن برای تعیین اثر ساختگاه عمومیت بیشتری یافت. (Ohmachi et al. (1994) و Field & Jacob (1993) نیز دریافتند که این روش برای برآورد پریرود طبیعی خاک بسیار مناسب می‌باشد. همچنین Nakamura (1989) بیان کرد که می‌توان فرض کرد که مؤلفه قائم حرکت به وسیله لایه خاک نرم تقویت نمی‌شود.

مطالعات نشان داد که در ساختگاه‌های واقع بر خاک نرم، منحنی‌های نسبت طیفی محاسبه شده، برآمدگی واضحی را که همخوانی خوبی با بسامد پایه‌ای تشدید دارد، نشان می‌دهد. در مجموع روش نسبت طیفی  $H/V$ ، افزون بر تعیین پریرود طبیعی ساختگاه می‌تواند ضریب تقویت آبرفت در نقاط مختلف، به ویژه برای بسامدهای پایین‌تر را ارائه کند که در چنین مطالعاتی بسیار مفید و سودمند خواهند بود. برای برداشت داده‌های مایکروترموری هم می‌توان از آرایه‌ها و شبکه‌های طراحی شده استفاده کرد و هم می‌توان تنها با یک لرزه‌سنج قابل حمل به برداشت داده‌ها پرداخت که در این میان روش ناکامورا پرکاربردترین روشی است که برای تحلیل داده‌های به‌دست آمده از طریق برداشت تک ایستگاهی به کار می‌رود. این روش نیازمند محاسبه تبدیل فوریه سریع، از تمام مؤلفه‌های نگاشت و محاسبه نسبت مؤلفه عمودی به افقی می‌باشد. با توجه به این مسئله که مؤلفه افقی روی سطح خاک ویژگی‌های قشر خاک روی سنگ بستر و مؤلفه افقی روی سنگ بستر ویژگی‌های سنگ بستر

اعمال فیلتر میانگذر ۰/۵ تا ۲۵ هرتز، به منظور حذف نوفه‌های شهری، که غالباً دارای بسامد بالای ۲۵ هرتز هستند صورت گرفت (شکل ۴). محاسبه طیف دامنه هر پنجره برای سه مؤلفه E، N و Z با استفاده از تبدیل فوریه سریع انجام و تقسیم طیفی میانگین مؤلفه‌های افقی به قائم (H/V) تمام مراحل بالا برای تک‌تک پنجره‌های انتخابی اجرا شد. پس از انجام مراحل یاد شده برای هر ایستگاه، پروید طبیعی زمین از روی طیف H/V به دست آمد. برای محاسبه پرویدهای طبیعی از روی شکل، پرویدهایی که بیشینه دامنه طبیعی را در طیف H/V دارد، قرائت و به عنوان پروید طبیعی زمین معرفی شدند. برای به دست آوردن ضریب تقویت، طول بزرگ‌ترین پیک در طیف H/V به عنوان ضریب تقویت آن ایستگاه معرفی گردید.

برای ثبت، پردازش و تحلیل داده‌ها به نکات زیر در اجرای طرح توجه شده است:

- داده‌ها در ساعات خلوت، عموماً شب برداشت شده‌اند.
- همزمان با برداشت داده‌ها، نوفه‌های تصادفی احتمالی در مکان برداشت ثبت شد.
- مشخصات کامل نقاط برداشت برای تحلیل بهتر داده‌ها بررسی و یادداشت شد.
- تحلیل و تفسیر داده‌ها طبق دستورالعمل Sesame انجام شد.

پنجره‌های زمانی هم به صورت دستی و هم اتوماتیک انتخاب شدند، و با توجه به استانداردهای Sesame بهترین پنجره برای تحلیل داده‌ها انتخاب گردید.

هر طیف H/V در هر ایستگاه یک پیک بیشینه را نشان می‌دهد. بیشینه پیکی که در طیف H/V در یک ایستگاه نمایان می‌شود، به عنوان اولین پروید طبیعی ساختمان معرفی شد. این بدان معنی است که اگر یک پیک واضح و مطابق با دستورالعمل Sesame در طیف ظاهر شود و دامنه آن کمتر از پیک اولیه باشد به عنوان پروید دوم سایت معرفی می‌شود. کلیه نتایج تحلیل‌ها و مشخصات ایستگاه‌ها شامل پروید طبیعی، بسامد طبیعی، ضریب بزرگنمایی و اندیس آسیب‌پذیری در جدول ۱ ارائه شده است.

در نهایت، برای استفاده نتایج در کارهای مهندسی و ارائه نقشه برای کاربردهای اجرایی، نقشه‌های مربوط به پروید طبیعی، ضریب تقویت خاک و اندیس آسیب‌پذیری در کل سطح شهرضا با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS تهیه گردید.

پروید طبیعی در ۵ رده، با کمترین مقدار حدود ۰/۰۴ ثانیه و بیشترین ۰/۳۷ ثانیه طبقه‌بندی شد. همان‌گونه که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، هر چه به طرف دشت پیش می‌رویم پروید طبیعی افزایش می‌یابد و به طرف محیط سنگی و کوه کاهش پیدا می‌کند.

زون‌بندی حاضر را می‌توان به عنوان نقشه پایه همراه با بررسی‌های تفصیلی از جمله اکتشافات زیرسطحی در کارهای عمرانی و فعالیت‌های شهرسازی به کار برد. به این ترتیب که طبق رابطه  $T=N/10$  (N: تعداد طبقات و T: پروید طبیعی) می‌توان تعداد طبقات بهینه را برای جلوگیری از پدیده تشدید در مکان‌های جدید شهری به دست آورد. برای مثال با توجه به طبقه‌بندی بالا، ساختمان‌های یک طبقه در رده پرویدی ۰/۱ و ساختمان‌های حدود ۴ طبقه در محدوده پرویدی ۰/۴ در معرض خطر تشدید قرار دارد. در ادامه ضریب تقویت زمین که همان طول بیشینه پروید طبیعی طیف H/V است، محاسبه و پهنه‌بندی شد. ضریب تقویت نیز همانند پروید طبیعی به ۵ رده تقسیم شد. همان‌طور که در شکل ۶ مشاهده می‌شود، ضریب تقویت از روند خاصی پیروی نمی‌کند و تنها به محتوای بسامدی رکورد ثبت شده در محل بستگی دارد.

سایت شهرستان شهرضا با توجه به روش مبتنی بر داده‌های مایکروترموور و سرعت برشی ارائه شده توسط Zare et al. (1999) (مطابق با جدول ۲)، طبقه‌بندی گردید که در شکل ۷ قابل مشاهده است.

در نهایت با توجه به گسترش فعالیت‌های عمرانی و نیاز بیش از پیش به سازه‌ها و فضاهای ایمن در برابر زمین‌لرزه، تأثیرگذاری زمین‌شناسی سطحی خاک

$V_b$ : سرعت موج برشی در سنگ بستر

$V_s$ : سرعت موج برشی در خاک

$\alpha_b$ : شتاب محاسبه شده در یک زمین لرزه معین

$F_g$ : بسامد طبیعی ساختمانگاه محاسبه شده توسط مایکروترموورها

طبق رابطه ارائه شده توسط Dobry et al. (1976) برای محاسبه سبترای خاک روی سنگ بستراز رابطه  $F_g = \frac{V_s}{4h}$  و رابطه Nakamura (2000) برای ضریب بزرگنمایی  $A_g = \frac{V_b}{V_s}$  استفاده کرده و به رابطه (۶) می‌رسیم.

$$F_g = \frac{V_b}{4A_g h} \quad (6)$$

باتوجه به رابطه کلی شتاب، آن را در رابطه ترکیب شده از رابطه‌های (۵) و (۶) ضرب و تقسیم می‌کنیم. در نهایت به رابطه (۷) می‌رسیم:

$$\alpha_b = (2\pi F_g)^2 d$$

$$\gamma = \frac{A_g \alpha_b}{(2\pi F_g)^2} \times 4A_g \times \frac{F_g}{V_b} \quad (7)$$

با ساده‌سازی رابطه (۷) تنش برشی به صورت رابطه (۸) در می‌آید:

$$\gamma = CK_g \alpha_b$$

$$C = \frac{1}{\pi^2 V_b} \quad (8)$$

مقدار  $C = \frac{1}{\pi^2 V_b}$  برای یک ساختمانگاه با یک سنگ بستر تقریباً ثابت فرض می‌شود. شتاب  $\alpha_b$  شتاب افقی در سطح می‌باشد و بستگی به توان لرزه‌خیزی منطقه دارد. بنابراین اندیس  $K_g$  (رابطه ۹) را می‌توان به عنوان اندیس آسیب‌پذیری برای یک سایت در نظر گرفت.

$$K_g = \frac{A_g^2}{F_g} \quad (9)$$

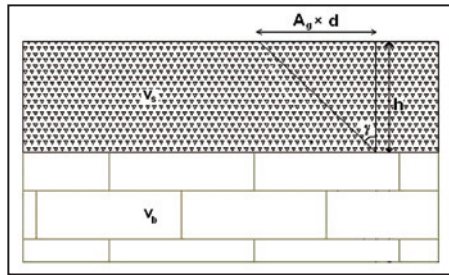
## ۵- اندازه‌گیری و تحلیل داده‌ها

در بررسی حاضر برداشت‌های مایکروترموور در محدوده شهرضا و پیرامون آن صورت گرفت (شکل ۲). به این منظور تعداد ۶۴ نقطه برداشت شد. انتخاب محل‌های برداشت با توجه به پوشش سطح شهر و دشت صورت گرفت (شکل ۳). در زمان برداشت داده‌ها، باید به مواردی از جمله وزش باد، میزان بارندگی (از اندازه‌گیری تحت بارندگی سنگین باید خودداری گردد)، منابع نوفه (نویز) همزمان (ماشین‌های ساختمانی، ماشین‌آلات صنعتی و ...) و منابع نوفه‌های گذرا (قدم برداشتن، عبور اتومبیل و ...) که باعث اختلال در اندازه‌گیری‌ها می‌شود، دقت نمود. در زمان اندازه‌گیری‌ها، بارندگی وجود نداشت و برداشت‌ها تماماً در ساعات خلوت به خصوص ساعت ۲۴ تا صبح صورت پذیرفت و در صورت وجود نوفه نیز، زمان آن ثبت و مدت زمان رکورد افزایش یافته تا پس از حذف نوفه‌های گذرا، پنجره کافی برای تحلیل وجود داشته باشد و یا برداشت داده مجدداً صورت گرفت.

مشخصات دستگاه لرزه‌نگار به این ترتیب می‌باشد:

- دستگاه لرزه‌نگار ۲۴ بیت ساخت ایتالیا
- سه ژئوفون Geospace ساخت آمریکا
- پاسخ بسامدی یکنواخت از ۰/۲ تا ۵۰ هرتز

رکورد داده‌های مایکروترموور ۱۰ تا ۱۵ دقیقه برای هر ایستگاه و نرخ برداشت داده‌ها ۱۰۰ نمونه در ثانیه انتخاب شد. بعد از تحلیل، پردازش داده‌ها در نرم‌افزار J-sesame صورت گرفت. به این ترتیب که ابتدا رکوردها در نرم‌افزار فراخوانی و طول پنجره‌های ۱۰ و ۵ ثانیه‌ای برای مراحل بعدی انتخاب شد.



شکل ۱- مدل‌سازی دگرشکلی در اثر زمین‌لرزه.

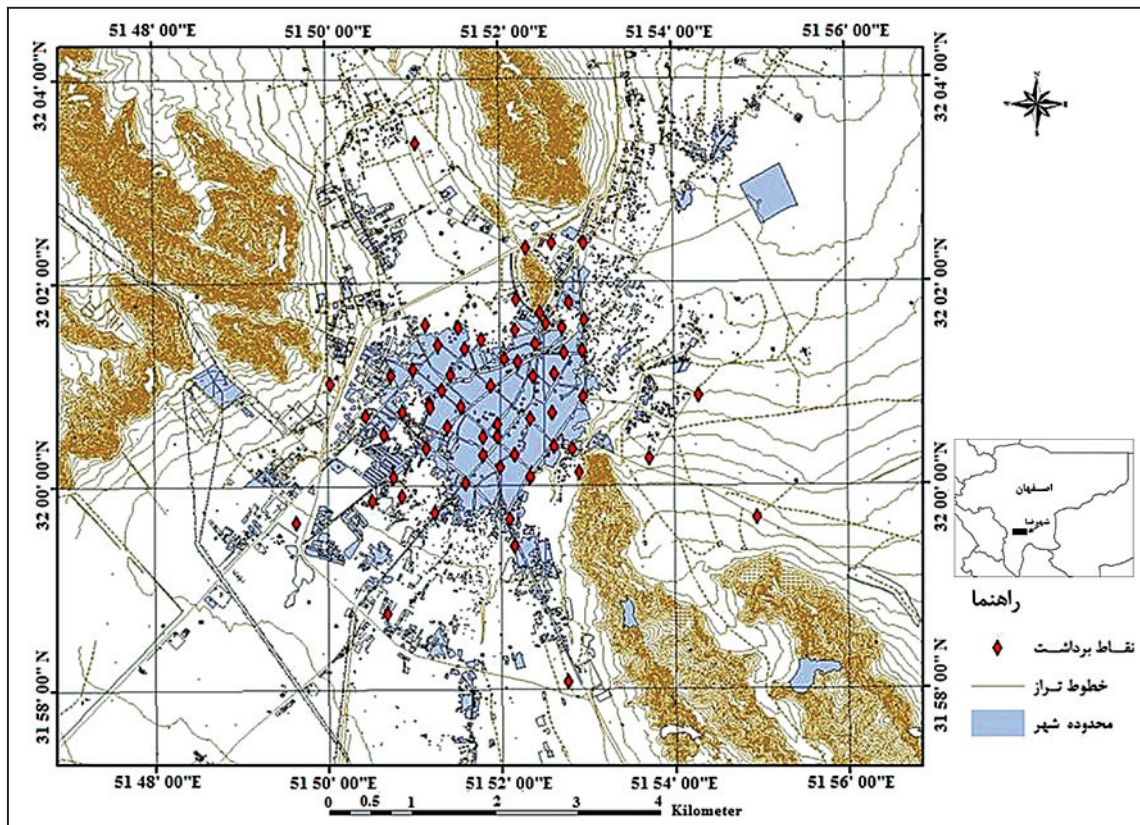


شکل ۲- موقعیت منطقه در ایران.

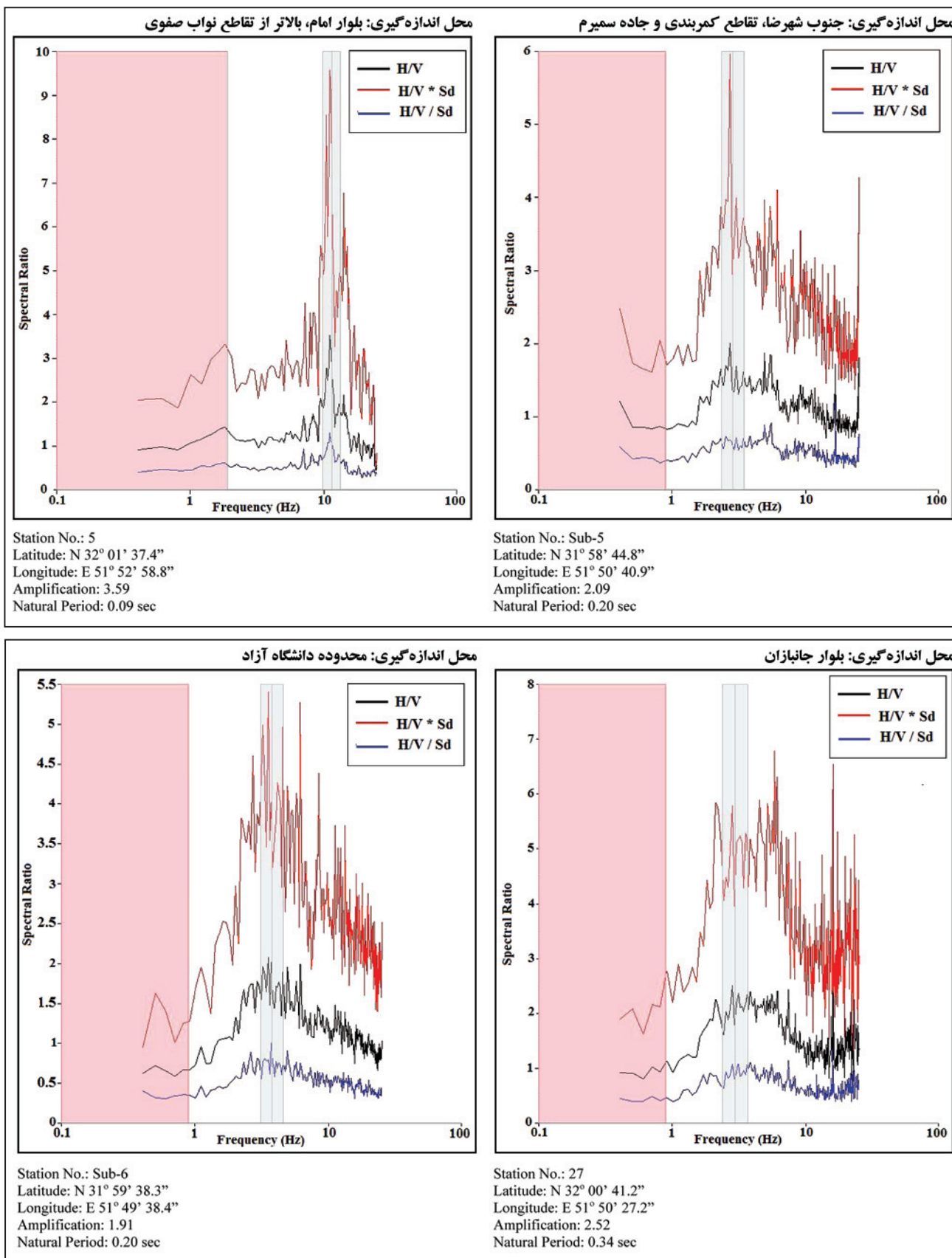
بر خرابی‌های ناشی از زمین‌لرزه و عدم همخوانی کامل پریرود طبیعی با ضریب بزرگنمایی؛ در این مطالعه، بر اساس مطالعات (1996) Nakamura، محاسبات تکمیلی مربوط به اندیس آسیب‌پذیری انجام گرفت. در نتیجه مقدار اندیس آسیب‌پذیری برای هر ایستگاه محاسبه و داده‌ها برای تحلیل نهایی در نرم‌افزار ArcGIS فراخوانی (شکل ۸) و منطقه مورد مطالعه به ۵ زون با درجه آسیب‌پذیری متفاوت تقسیم بندی شد که با توجه به آن توزیع آسیب‌پذیری در اثر زمین‌لرزه احتمالی تعیین گردید که می‌تواند پراکندگی تقریبی خرابی‌های ممکن در اثر رخداد احتمالی زمین‌لرزه را نشان دهد که همراه با بررسی‌های تفصیلی تکمیلی مبنای ارزیابی‌های مهندسی قرار گیرد.

## ۶- نتیجه‌گیری

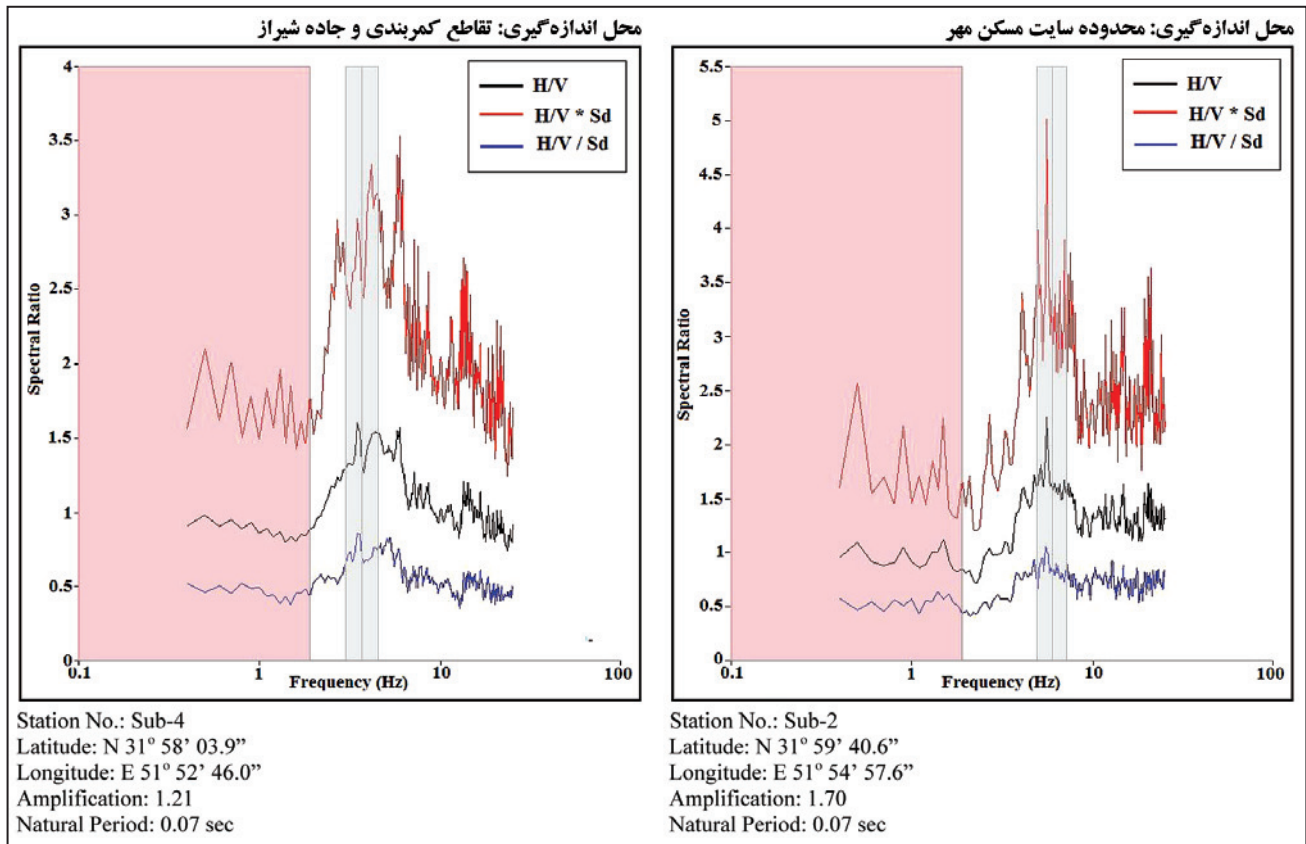
نقش اثر ساختگاه در میزان خرابی و خسارت ناشی از زمین‌لرزه امروزه بر کسی پوشیده نیست و پژوهشگران بسیاری ضمن تأیید مسئله یاد شده، بر نقش انجام چنین مطالعاتی تأکید فراوان داشته‌اند. از این رو در این بررسی اثر ساختگاه در منطقه شهرضا و به ویژه ضریب تقویت ساختگاه و اندیس آسیب‌پذیری در ۶۴ نقطه از شهر اندازه‌گیری و مورد تحقیق و ارزیابی قرار گرفت. به این ترتیب که پریرود طبیعی، ضریب تقویت و اندیس آسیب‌پذیری به ۵ درجه طبقه‌بندی شد. نتایج حاصل از تفسیر نگاهت‌های ثبت شده ارتباط نسبتاً خوبی را با تغییرات مورفولوژی نشان داد. هرچه به سمت کوه‌های اطراف شهر پیش می‌رویم پریرود طبیعی کاهش پیدا می‌کند و برعکس هرچه به سمت مرکز دشت پیش می‌رویم پریرود طبیعی افزایش پیدا می‌کند. بنابراین این طور نتیجه‌گیری می‌شود که پریرود طبیعی در شهرستان شهرضا با تغییرات ستبرای آبرفت به صورت تقریبی همخوانی دارد. مطالعه حاضر را می‌توان به عنوان مطالعات اولیه در راهنمای ساخت سازه با توجه به پریرود طبیعی سازه و به منظور جلوگیری از پدیده تشدید در کنار مطالعات تفصیلی دیگر در طراحی‌های عمرانی و شهرسازی به کار برد.



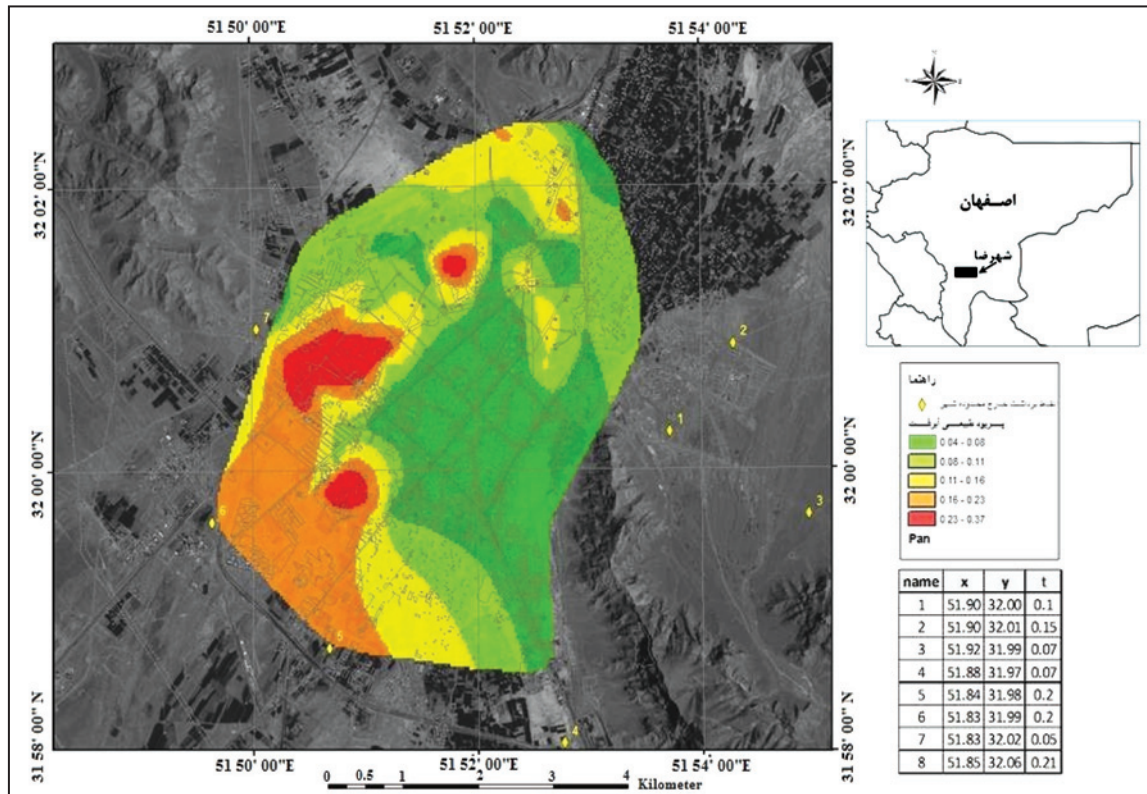
شکل ۳- پراکندگی نقاط برداشت مایکروترمو.



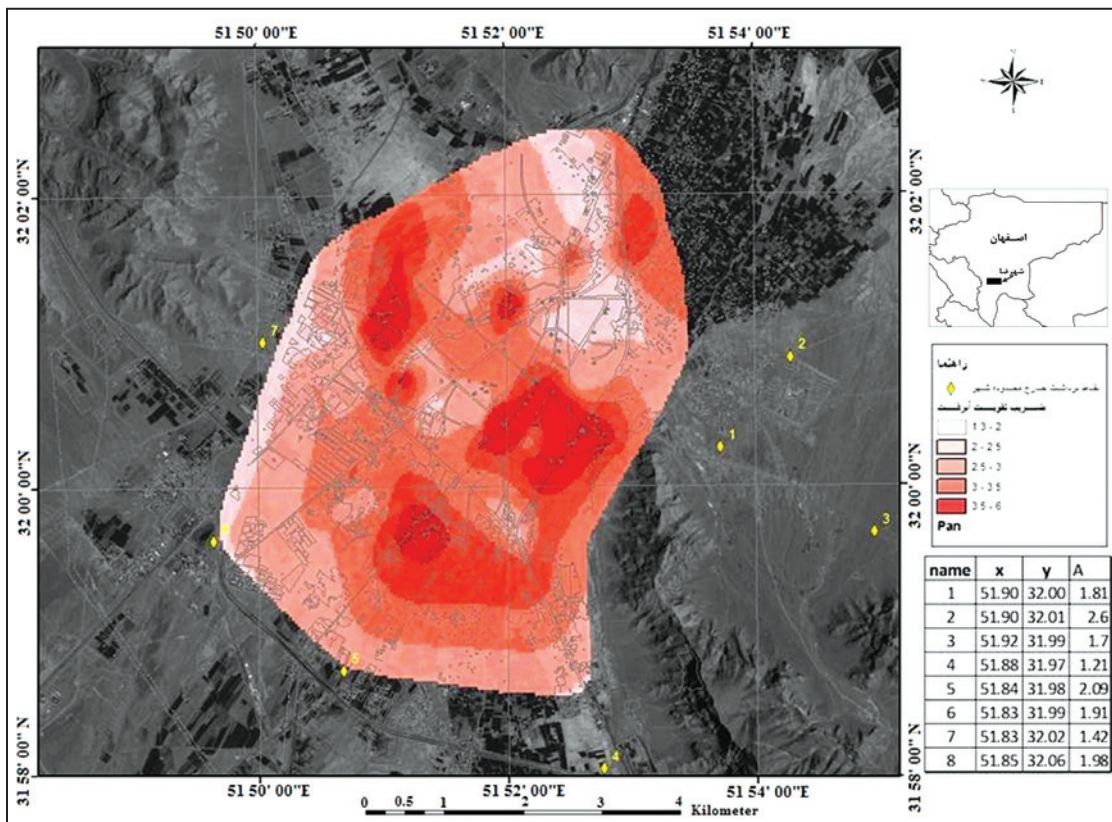
شکل ۴- نمونه‌هایی از طیف‌های محاسبه شده H/V برای ایستگاه‌های اندازه‌گیری مایکروتر مور در شهرضا.



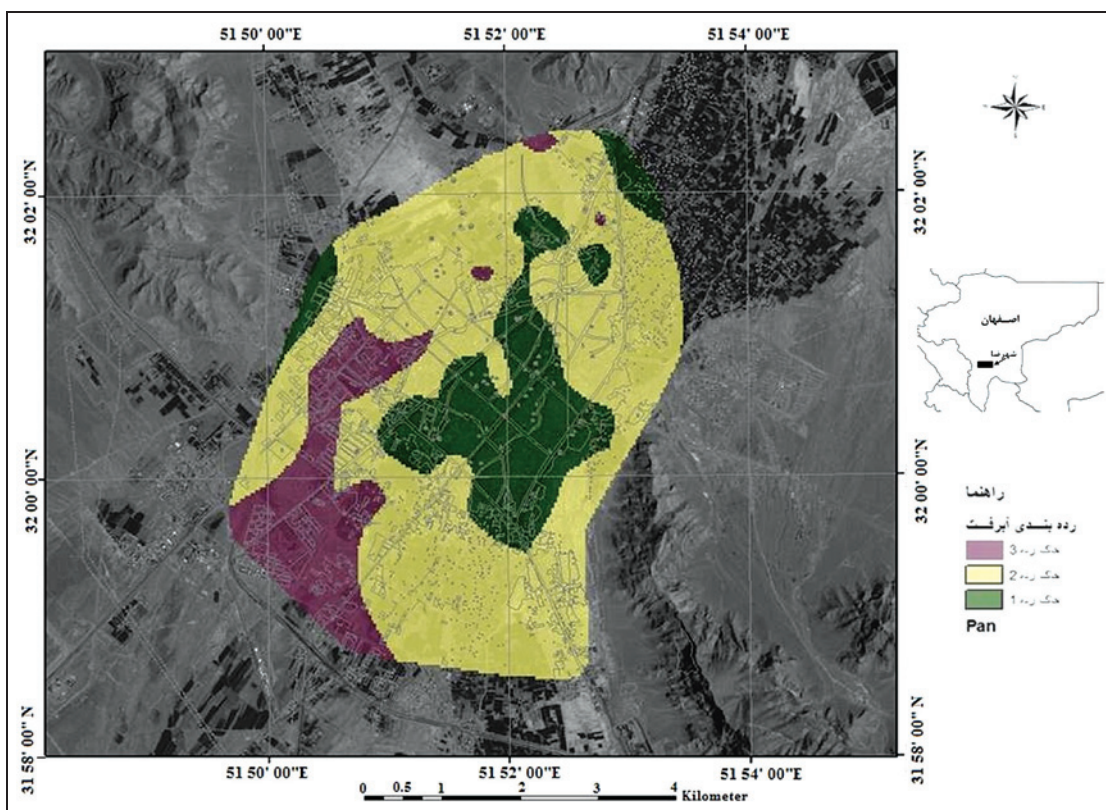
ادامه شکل ۴



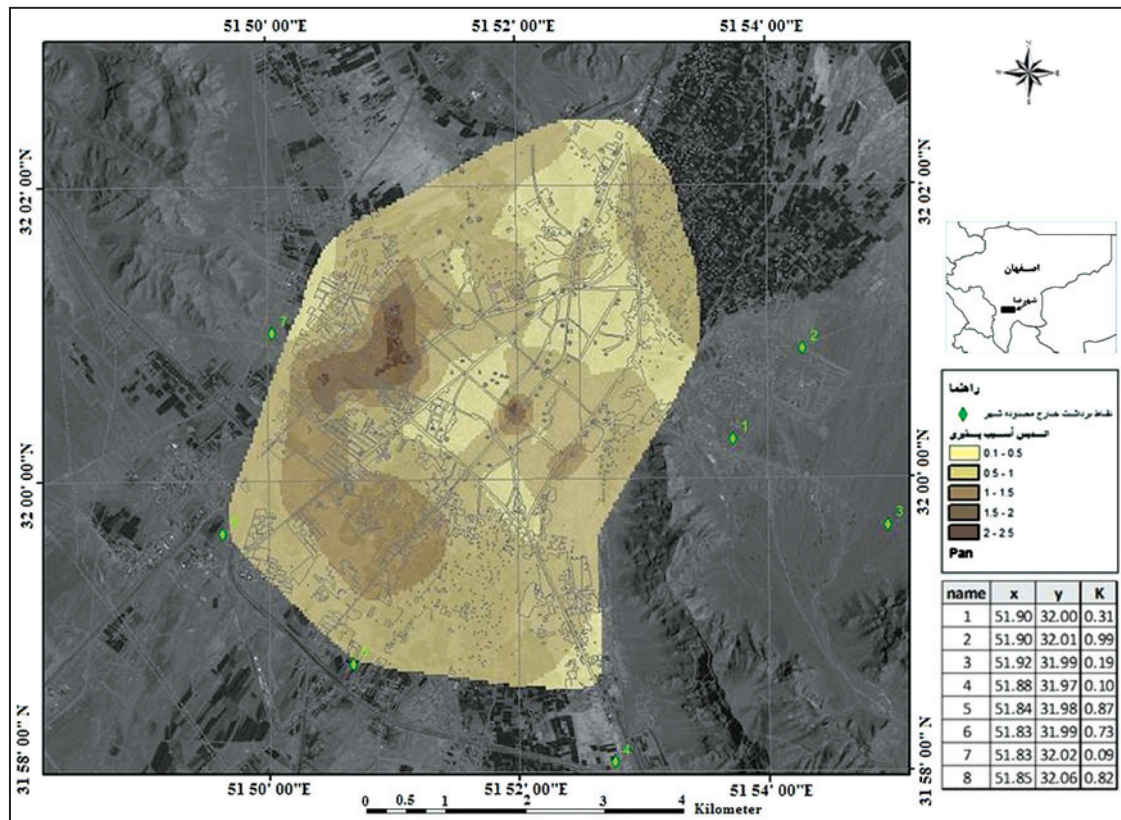
شکل ۵- نقشه پرورد طبیعی زمین.



شکل ۶- نقشه طبقه‌بندی ضریب تقویت زمین.



شکل ۷- نقشه طبقه خاک بر اساس بسامد طبیعی (Zare et al., 1999).



شکل ۸- نقشه زون‌بندی اندیس آسیب پذیری.

جدول ۱- نتایج محاسبات پریرود طبیعی، بسامد طبیعی، ضریب بزرگنمایی، اندیس آسیب پذیری.

اندیس آسیب پذیری	ضریب بزرگنمایی آبرفت	پریرود طبیعی ساختگاه	بسامد طبیعی ساختگاه	y	x
0.54	2.59	0.08	12.44	32	51.86
0.39	2.89	0.05	21.67	32.01	51.85
0.64	3.65	0.05	20.68	32	51.86
0.2	2.05	0.05	20.88	32.01	51.86
2.57	6.88	0.05	18.4	32.01	51.87
0.85	3.43	0.07	13.8	31.99	51.87
0.17	1.84	0.05	20.03	31.99	51.87
0.5	3.34	0.04	22.25	32	51.87
0.32	2.71	0.04	23.04	32.01	51.87
1.3	4.42	0.07	15.06	32	51.87
0.87	3.71	0.06	15.86	32.01	51.88
0.93	4.65	0.04	23.21	32.01	51.88
0.8	4.11	0.05	21.2	32.01	51.87
1.79	4.07	0.11	9.23	32.01	51.85
0.52	2.61	0.08	13.06	32.01	51.87
0.21	1.78	0.07	14.87	32.02	51.87
0.49	2.09	0.11	8.86	32.01	51.88
0.47	1.89	0.13	7.64	32.02	51.88

اندیس آسیب پذیری	ضریب بزرگنمایی آبرفت	پریرود طبیعی ساختگاه	بسامد طبیعی ساختگاه	y	x
0.93	3.6	0.07	13.87	32.03	51.85
0.31	1.81	0.1	10.45	32	51.9
0.39	2.27	0.08	13.05	32.01	51.88
0.15	1.37	0.08	12.44	32.02	51.88
1.15	3.59	0.09	11.22	32.03	51.88
0.38	2.88	0.05	21.64	32.04	51.88
1.02	3.56	0.08	12.44	32.03	51.88
0.15	1.78	0.05	20.87	32.03	51.88
0.28	2.19	0.06	17.23	32.03	51.87
0.64	1.97	0.17	6.02	32.04	51.87
0.67	2.25	0.13	7.6	32.02	51.87
1.16	4.6	0.05	18.25	32.02	51.87
1.03	1.76	0.33	3.02	32.02	51.86
0.18	1.68	0.06	15.46	32.03	51.87
0.3	2.1	0.07	14.88	32.02	51.86
0.8	2.87	0.1	10.26	32.02	51.85
0.44	2.52	0.07	14.48	32.03	51.86
2.38	5.29	0.09	11.75	32.02	51.85



جدول ۱- نتایج محاسبات پرئود طبیعی، بسامد طبیعی، ضریب بزرگنمایی، اندیس آسیب‌پذیری.

اندیس آسیب‌پذیری	ضریب بزرگنمایی آبرفت	پرئود طبیعی ساختگاه	بسامد طبیعی ساختگاه	y	x
0.16	1.52	0.07	14.27	32.02	51.88
0.31	2.18	0.06	15.47	32.02	51.87
0.26	2.27	0.05	19.63	32.03	51.88
0.47	1.57	0.19	5.28	32.03	51.88
0.99	2.6	0.15	6.83	32.01	51.9
0.19	1.7	0.07	15.1	31.99	51.92
0.52	2.62	0.08	13.26	32	51.88
0.1	1.21	0.07	14.3	31.97	51.88
0.87	2.09	0.2	5.03	31.98	51.84
0.73	1.91	0.2	5.03	31.99	51.83
0.09	1.42	0.05	21.3	32.02	51.83
0.82	1.98	0.21	4.81	32.06	51.85
0.26	2.15	0.06	17.67	32.03	51.87
0.36	1.7	0.12	8.05	32.04	51.88

اندیس آسیب‌پذیری	ضریب بزرگنمایی آبرفت	پرئود طبیعی ساختگاه	بسامد طبیعی ساختگاه	y	x
0.55	1.76	0.18	5.64	32.02	51.86
1.25	3.03	0.14	7.32	32.02	51.86
0.49	2.72	0.07	14.96	32.02	51.86
0.4	2.55	0.06	16.28	32.01	51.86
0.21	1.75	0.07	14.46	32.01	51.86
2.07	2.41	0.36	2.81	32.01	51.85
2.07	2.41	0.36	2.81	32.01	51.85
0.81	2.02	0.2	5.03	32.02	51.85
2.16	2.52	0.34	2.94	32.01	51.84
0.8	2.45	0.13	7.53	32.01	51.84
1.12	2.66	0.16	6.3	32	51.84
0.85	3.09	0.09	11.22	32	51.85
1.48	1.97	0.38	2.63	32	51.85
1.18	4.1	0.07	14.19	32	51.85

جدول ۲- تعریف رده‌بندی اثرهای ساختگاه برای ایران (Zare et al., 1999)

ساختگاه	متوسط سرعت موج برشی (در ۳۰ متر اول)	تشدید بیش از ۳ برابر در طیف مؤلفه افقی به قائم H/V
رده ۱، سنگی	$V_{S30} > 700$	$R_{hv} \text{ (Amp)} > 15 \text{ Hz}$
رده ۲، آبرفت سخت	$500 < V_{S30} < 700$	$5 < R_{hv} \text{ (Amp)} < 15 \text{ Hz}$
رده ۳، آبرفت نرم (ماسه)	$300 < V_{S30} < 500$	$2 < R_{hv} \text{ (Amp)} < 5 \text{ Hz}$
رده ۴، خاک نرم (رسی)	$V_{S30} < 300$	$R_{hv} \text{ (Amp)} < 2 \text{ Hz}$

## کتابنگاری

مغرب، م.، معماریان، ح.، زارع، م. و روزخس، پ.، ۱۳۸۷- بررسی ضخامت آبرفت روی سنگ بستر با استفاده از سرعت موج برشی و خردلرزه‌های محیطی با مطالعه موردی شهرکرد، فصلنامه زمین، شماره ۳.

مغرب، م.، معماریان، ح. و زارع، م.، ۱۳۸۶- مطالعه اثر ساختگاه با استفاده از اندازه‌گیری مایکروتومور، دومین کنفرانس مقابله با سوانح و بلایای طبیعی، ایران.

## References

- Bard, P.Y., 1999- Microtremor measurements: A tool for site effect estimation?, 2<sup>nd</sup> International Symposium on the Effects of Surface Geology on seismic motion, Yokohama, December 1-3, 1998, Irikura, Kudo, Okada & Sasatani, (Eds), Balkema 1999, p. 1251-1279.
- Bard, P.Y., 2008- The H/V technique: capabilities and limitations based on the results of the SESAME project, Bulletin of Earthquake Engineering, V. 6, No. 1.
- Bonnefoy Claudet, S., Cornou, C., Bard, P.Y., Cotton, F., Moczo, P., Kristek, J. & Fah, D., 2006- H/V ratio: a tool for site effects evaluation. Results from 1-D noise simulations, Geophysical Journal International, V. 167, p. 827-837.
- Chavez- Garcia, F. J., Pedotti, G., Hatzfeld, D. & Bard, P. Y., 1990- An experimental study of site effects near Thessaloniki (northern Greece), Bulletin of the Seismological Society of America, V. 80, p. 847- 806.
- Dobry, R., Oweis, I. & Urzua, A., 1976- Simplified procedures for estimating the fundamental period of a soil profile, Bulletin of the Seismological Society of America, V. 66, No. 4, p. 1293-1321.

- Fah, D., Kind, F. & Giardini, D., 2001- A Theoretical Investigation on H/V ratios, *Geophysical Journal International*, V. 145, p. 535-549.
- Field, E. H. & Jacob, K. H., 1993- The theoretical response of sedimentary layers to ambient seismic noise, *Geophysical Research Letters*, V. 20, p. 2925-2928.
- Haghshenas, E., Bard, P. Y. & Theodulidis, N., 2008- Empirical evaluation of microtremor H/V spectral ratio, *Bulletin of Earthquake Engineering*, V. 6, p. 75-108.
- Hinzen, K.G., Weber, B. & Scherbaum, F., 2004- On the resolution of H/V measurements to determine sediment thickness, a case study across a normal fault in the Lower Rhine Embayment, Germany, *Journal of Earthquake Engineering*, V. 8, p. 909-926.
- Lermo, J. & Chavez- Garcia, F. J., 1994- Are Microtremors useful in site response evaluation?, *Bulletin of the Seismological Society of America*, V. 84, p. 1350-1364.
- Lu, L., Yamazaki, F. & Katayama, T., 1992- Soil amplification based on seismometer array and microtremor observations in Chiba, Japan, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, V. 21, p. 95-108.
- Mojarab, M., Memarian, H. & Roozkhah, P., 2008- Studying site effects using shear wave velocity and microtremors in Shahrekord city, *Journal of Seismology and Earthquake Engineering*, V. 10, No. 3, p. 109-121.
- Nakamura, Y., 1989- Method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface, *Quarterly Reports of Railway Technical Research Institute*, V. 30, p. 25-33.
- Nakamura, Y., 1996- Real time information systems for seismic hazard mitigation, UrEDAS, HERAS and PIC., *Quarterly Reports of Railway Technical Research Institute*, V. 37, p. 112-127.
- Nakamura, Y., 1997- Seismic vulnerability indices for ground and structures using microtremor, world congress on railway research in Florence, Italy, p. 12-18.
- Nakamura, Y., 2000- Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications, *Proc. of 12<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, p. 2656-2664.
- Nogoshi, M. & Igarashi, T., 1971- On the amplitude characteristics of microtremor (Part 2)", *Journal of the Seismological Society of Japan*, V.24, p. 26-40.
- Nogoshi, M. & Igarashi, T., 1970- On the propagation characteristics of microtremors, *Journal of the Seismological Society of Japan*, V. 23, p. 264-280.
- Ohmachi, T., K. Konno, T. Endoh, & Toshinawa, T., 1994- Refinement and application of an estimation procedure for site natural periods using microtremor, *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, No. 489, 1-27, p. 251-260.
- Seht, M. I. V. & Wohlenberg, J., 1999- Microtremor Measurements Used to Map Thickness of Soft Sediments, *Bulletin of the Seismological Society of America*, V. 89, No. 1, p. 250-259.
- Singh, S. K., 1992- A Site effect study in Acapulco Guerrero, Mexico, Comparison of results of strong motions and microtremore data, *Bulletin of the Seismological Society of America*, V. 82, p. 642-659.
- Yamanaka, H., 1993- Continuous measurement of microtremors on sediments and basement in Los Angeles, *Bulletin of the Seismological Society of America*, V. 83, p. 1595-1604.
- Zare, M., Bard, P.-Y. & Ghafory-Ashtiany, M., 1999- Site Characterizations for the Iranian Strong Motion Network, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, V. 18, p. 101-123.

# Studying Site Effect in Shahreza City by Using Microtremor Measurement & Vulnerability Index

N. Norouzi <sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> M.Sc., Institute of Geophysics, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 2013 December 25

Accepted: 2014 June 07

## Abstract

Regarding to the destructive earthquakes that happened in the world and Iran, potential influence of surface geology on strong ground motion and the damages due to the earthquakes that named as site effect is well known. This study is a section of seismic microzonation of Shahreza city. In this study we further investigated the site effect by microtremor measurement and for analysis of microtremor data; H/V (Nakamura's technique) was used. Accordingly, the microtremor measurement has been estimated for 64 sites of Shahreza city. Finally, the results are presented in different maps as natural period distribution of site, amplification factors and Vulnerability Index. The calculations revealed that the natural period is differing from 0.04 to 0.38 and the amplification factor differs from 1.21 to 6.88, too. The results showed a relatively acceptable connection with the morphology of the region. Thus, the natural period is decreased by moving toward the mountains around the city, whereas the natural period is increased by moving toward the center of plain. The results of this study as preliminary investigation can be used with detailed investigations in metropolitan planning for Expansion of City, estimation of seismic risks and crisis management due to an earthquake.

**Keywords:** Microtremor, Site Effect, Vulnerability Index, Seismic Microzonation, Shahreza city.

For Persian Version see pages 27 to 36

\*Corresponding author: N. Norouzi; E-mail: n.norouzi83@gmail.com