

بررسی پدیده تقویت دامنه امواج لرزه‌ای در آبرفت‌ها

محمدعلی ریاحی* و علیرضا مهدوی زفرقندی*

*موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، صندوق پستی ۶۴۴۶-۱۴۱۵۵.

چکیده

تقویت امواج لرزه‌ای در محل‌های پوشیده از آبرفت، پدیده شناخته شده‌ای است که بارها هنگام وقوع زمینلرزه مشاهده شده است. اندازه‌گیری مقدار فاکتور تقویت دامنه هم به‌منظور تهیه نقشه‌های خرد پهنه‌بندی، و هم به‌عنوان یکی از عوامل موثر در طراحی سازه‌ها در مناطق لرزه‌خیز مورد توجه است. انتخاب روشی که این کمیت را تا حد امکان نزدیک به واقعیت برآورد کند، از موضوعات مورد بحث می‌باشد. در این بررسی که در منطقه شهری واقع در جنوب شرقی تهران، در محدوده کوه‌های بی‌بی‌شهربانو، انجام گرفته کوشش در اندازه‌گیری این کمیت بوده است. هدف بررسی حاضر، از یک طرف مقایسه بین دو نوع موج از نظر چشمه مولد ارتعاشات است، بدین معنی که در نوبت نخست داده‌ها مربوط به ارتعاش‌های حاصل از انفجار دینامیت و در نوبت بعدی داده‌های مربوط به ارتعاش‌های ناشی از میکروترمورها بوده است. از سوی دیگر مقایسه بین دو روش در پردازش داده‌ها یعنی روش ناکامورا و روش ایستگاه مرجع صورت گرفته است. نتیجه این بررسی را به این صورت می‌توان خلاصه کرد که: هم در مورد انفجار و هم در مورد میکروترمورها، فاکتور تقویت دامنه به‌دست آمده از روش ناکامورا بزرگ‌تر از فاکتور به‌دست آمده از ایستگاه مرجع است. و از طرف دیگر، هم در مورد روش ناکامورا و هم در مورد روش ایستگاه مرجع فاکتور تقویت دامنه به‌دست آمده از امواج ناشی از انفجار، بزرگ‌تر از فاکتور تقویت دامنه به‌دست آمده از امواج میکروترمورهاست. فاکتورهای تقویت دامنه اندازه‌گیری شده در شکل‌های ۱ تا ۷ این مقاله نشان داده شده است.

کلیدواژه: تقویت دامنه امواج، آبرفت، روش ناکامورا، روش ایستگاه مرجع

۱ مقدمه

پتانسیل روانگرایی خاک و پتانسیل زمین‌لغزش به سبب زمینلرزه. پس از وقوع بعضی از زمینلرزه‌ها، مشاهده تفاوت زیاد میزان تخریب در دو محل با فاصله نزدیک به یکدیگر پدیده‌ای است که توسط محققان مختلف (بارد، ۱۹۹۵؛ میلانا و همکاران، ۱۹۹۶) ناشی از اثر ساختگاه تشخیص داده شده است. در این مورد به‌نظر بارد (۱۹۹۵) اثرهای ساختگاه می‌توانند موجب افزایش شدت زمینلرزه به میزان ۲ تا ۳ درجه مرکالی شوند. همچنین تغییرات شدت تخریب طی زمینلرزه‌های قوی، آشکارا در فواصل چند متری قابل مشاهده‌اند (میلانا و همکاران، ۱۹۹۶). سابقه استفاده از میکروترمورها به کانای و همکاران (۱۹۵۴) بازمی‌گردد. اما استفاده از داده‌های جنبش ضعیف نسبت به میکروترمورها از اعتبار بیشتری برخوردار است (آکی، ۱۹۹۳). در مهندسی زلزله به لرزش‌های ناشی از زمینلرزه‌های با بزرگی کوچک‌تر از ۴ درجه ریشتر جنبش ضعیف اطلاق می‌شود (آکی، ۱۹۹۳؛ میلانا و همکاران، ۱۹۹۶). در مطالعات اثر ساختگاه، استفاده از داده‌های حاصل از جنبش قوی نیز توصیه شده است، لیکن به‌دلیل این که این نوع داده‌ها همیشه

کشور ایران به‌دلیل قرار گرفتن بر روی کمربند آلپ - هیمالیا، از مناطق لرزه‌خیز کره زمین به‌شمار می‌رود. بنابراین احتمال وقوع زمینلرزه در این محدوده جغرافیایی همواره وجود دارد. شناسایی عوامل تشدید کننده تخریب‌ها در طول زمان وقوع زمینلرزه و در نظر گرفتن این عوامل در طراحی سازه‌ها از نکات دارای اهمیت بسیار است. در مناطقی که زمینلرزه به‌وقوع می‌پیوندد، می‌توان با انجام آرایه‌ای مناسب از دستگاه و ثبت پس‌لرزه‌ها بلافاصله بعد از وقوع زمینلرزه، نسبت به تعیین فاکتور تقویت دامنه (فیلد، ۱۹۹۶) و بسامد غالب خاک اقدام نمود. نتایج به‌دست آمده از چنین عملیاتی می‌تواند در طراحی سازه‌های مورد نیاز در مناطق ذکر شده به کار آید و در مرحله دیگر، از این نتایج می‌توان در تهیه نقشه‌های خردپهنه‌بندی استفاده نمود.

در مهندسی زلزله این عوامل تحت عنوان "اثر ساختگاه" (گاریسیا و بارد، ۱۹۹۴) مورد بررسی قرار می‌گیرند. این نوع مطالعات بر اساس تخمین ضریب بازتاب موج از طریق حل معادله زورپریس (۱۹۱۹) صورت می‌گیرند که بعضی از آنها عبارتند از: تناوب غالب خاک، تقویت دامنه امواج لرزه‌ای،

است. این لایه در ابتدا دارای ضخامت زیاد بوده و سپس به تدریج از ضخامت آن کاسته شده است. بر روی این لایه، آهک‌های دولومیتی که مقدار کربنات منیزیم آنها بین ۸ تا ۱۵ درصد است رسوب کرده‌اند و روی آنها لایه‌های دولومیتی قرار گرفته‌اند.

۳ عملیات صحرائی

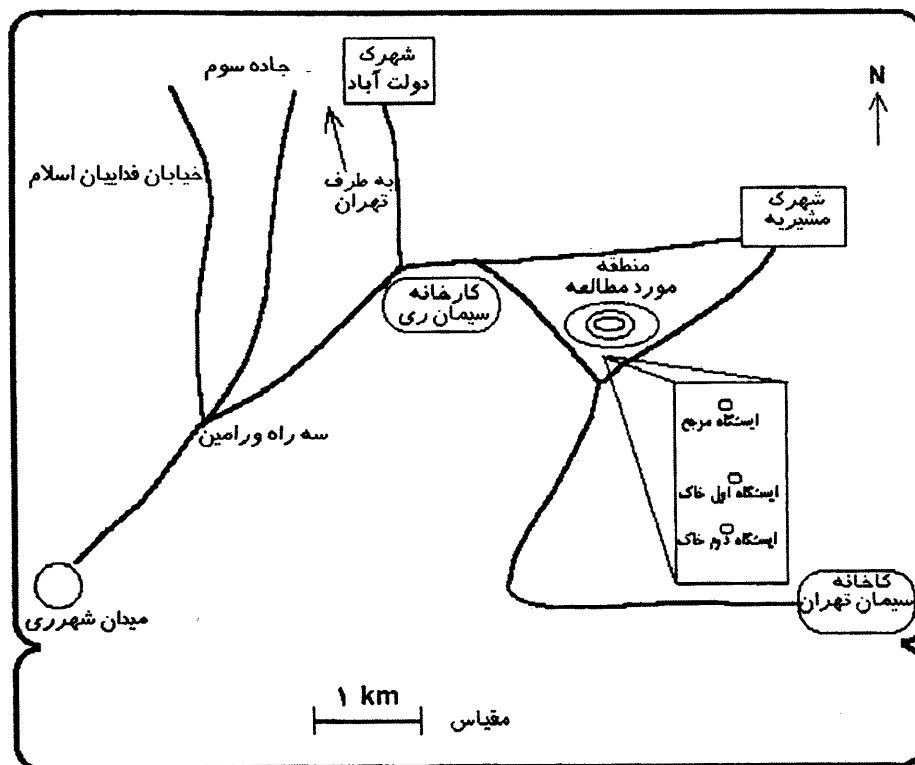
الف) دستگاه اندازه‌گیری: در این مطالعه دستگاه مورد استفاده از نوع PDAS 100 بوده است. همان‌طور که از نام آن برمی‌آید این دستگاه وسیله‌ای قابل حمل و مناسب برای برداشت اطلاعات لرزه‌ای است. این دستگاه، رایانه‌ای است که با رابط‌های الکترونیکی به تجهیزات خارجی متصل می‌شود. این رایانه از طریق شش کانال که با کابل‌هایی به لرزه‌سنج وصل می‌شوند، اطلاعات را برداشت و در خود ذخیره می‌کند. در مطالعه حاضر از سه کانال دستگاه ذکر شده استفاده شد. به این صورت که کانال اول مولفه قائم، کانال دوم مولفه شمالی - جنوبی و کانال سوم مولفه شرقی - غربی سرعت ذرات را برداشت نمودند. حداکثر نرخ نمونه‌برداری این دستگاه برابر با ۱۰۰۰ نمونه در ثانیه است. همچنین این دستگاه توانایی برداشت اطلاعات با دو نرخ نمونه‌برداری در یک زمان را دارد. لرزه‌سنج، در واقع یک ژئوفون سه مولفه‌ای است که سرعت ذرات را اندازه می‌گیرد و بسامد طبیعی آن حدود یک هرتز است. این لرزه‌سنج از نوع L-4-3D است. خروجی آن حداکثر برابر ثانیه/ اینچ/ ولت / ۶/۹ است و مجموعه آن دارای یک پوشش آلومینیومی ضد آب است.

ب) انجام عملیات: عملیات صحرائی طی سه شبانه روز در اواخر مهرماه انجام شد. نحوه اجرا بدین شکل بود که ابتدا محل انفجار توسط مسئول انفجار کارخانه سیمان تهران مشخص می‌شد، سپس با توجه به توپوگرافی محل و با توجه به این که در چه محل‌هایی قرار است فاکتور تقویت دامنه محاسبه شود، نقاط مناسبی برای استقرار لرزه‌نگارها در نظر گرفته می‌شد. در اندازه‌گیری‌های مربوط به روز سوم، ایستگاه مرجع در فاصله حدود ۱۰۰ متری از نقطه انفجار، ایستگاه اول خاک در فاصله حدود ۱۵۰ متری از ایستگاه مرجع و ایستگاه دوم خاک در فاصله حدود ۱۰۰ متری از

و در همه جا در دسترس نیستند، از داده‌های حاصل از جنبش ضعیف استفاده می‌شود. شایان ذکر است که /دودیا و تریفوناک (۱۹۷۳) در به‌کارگیری میکروترمورها برای مقاصد مهندسی زلزله اظهار تردید نموده‌اند و این امر موجب بحث‌های طولانی بین محققان امریکایی و ژاپنی بوده است (سیکیتز و همکاران، ۱۹۹۶). با وجود تحقیقات و گزارش‌های متعددی که در مورد موفقیت کاربرد میکروترمورها توسط محققان ژاپنی ارائه شده است، مباحثات ذکر شده همچنان ادامه دارند. در هر حال موفقیت کاربرد این نوع امواج برای تعیین تناوب غالب خاک و همچنین استفاده موفقیت‌آمیز از بعضی از محدوده‌های بسامدی این نوع امواج، دلیلی بر ادامه کاربرد آنها بوده است (بارد، ۱۹۹۵). همچنین آکی استفاده از میکروترمورها را در محدوده دوره تناوب بلند معتبر می‌داند (آکی، ۱۹۸۸). بحث‌های مورد اشاره سبب شد تا در این مقاله، به‌کارگیری میکروترمورها در مقابل داده‌های جنبش ضعیف مورد بررسی و مقایسه قرار گیرد.

۲ خلاصه زمین‌شناسی منطقه بی‌بی‌شهربانو

کوه‌های بی‌بی‌شهربانو مربوط به دوران دیرینه زیستی است و در اوایل دوران میانه‌زیستی از آب خارج شده است. این کوه دارای لایه‌های مربوط به دوره‌های دونین، کربونیفر، پرمین و تریاس است. قدیمی‌ترین سنگی که در کوه بی‌بی‌شهربانو وجود دارد، مربوط به دوره دونین، و از نوع سنگ‌های سیلیس (کوارتزیت) است که در دامنه جنوبی کوه به صورت لایه‌های منظمی قرار گرفته است. روی لایه‌های کوارتزیتی دوره دونین لایه‌های آهکی سیاه‌رنگ با رگه‌های سفید کلسیت که معرف دوره کربونیفراند، قرار گرفته‌اند. امتداد این لایه‌ها شرقی - غربی و شیب آنها به سمت شمال است. روی لایه‌های دوره کربونیفر، لایه‌هایی از خاک نسوز وجود دارند که ممکن است مربوط به دوره پرمین باشند. این لایه‌ها منظم نیستند و دارای ضخامت متغیر بین ۱ تا ۱۰ متراند. با توجه به ضخامت کل لایه‌های نسوز در منطقه مورد بررسی، مجموع این لایه‌ها را می‌توان به‌عنوان یک لایه در نظر گرفت. روی خاک‌های نسوز، لایه‌های زرد کم‌رنگی رسوب کرده است که مربوط به دوره تریاس



شکل ۱. کروکی محل مورد مطالعه و نحوه آرایش دستگاه‌ها (روز سوم).

دقت خوبی در برداشت داده‌ها ایجاد نمود، آنها را در برابر پدیده الیاسینگ نیز به خوبی محافظت کرد. برای اطمینان از اینکه داده‌ها به میزان کافی برداشت شده باشند، مراحل شرح داده شده در بالا، در سه روز و سه محل مختلف تکرار شد. از میان داده‌های برداشت شده، آنهایی که مربوط به روز سوم بودند برای مطالعه و پردازش انتخاب شدند. این امر به دو دلیل انجام شد. نخست آن‌که ضخامت آبرفت با توجه به ترانسه‌های موجود در محل، بیشتر از ضخامت مربوط به محل روزهای اول و دوم بود. و در وهله بعد وضعیت توپوگرافی از نظر موقعیت استقرار دستگاه‌ها و فواصل آنها از یکدیگر، در محل مربوط به روز سوم از دو محل دیگر مناسب‌تر بود. در انفجار روز سوم که مبنای محاسبات و پردازش در این مطالعه است، حدود ۱۲۰ کیلوگرم دینامیت و حدود ۸۷۵ کیلوگرم ماده‌ای به نام آمفو (ترکیبی از نیترات آمونیوم و گازوئیل) استفاده شد. این مقدار مواد بین ۹۲ چاله انفجار و در هشت ردیف توزیع شد. بین هر ردیف کناری

ایستگاه اول قرار داشتند. پس از انفجار و ثبت لرزش‌ها، دستگاه‌ها جمع‌آوری می‌شد و در همان شب پس از ۲۴ ساعت با همان آرایه چیده شده برای انفجار، اطلاعات مربوط به میکروترمورها برداشت می‌شد. واضح است که چون انفجار در یک فاصله زمانی کوچک رخ می‌داد، برداشت نیز در همان فاصله زمانی انجام می‌شد. اما برای میکروترمورها از ساعت ۲۴ تا ۲ بامداد در فواصل ۳۰ دقیقه‌ای، هر نوبت به میزان دو دقیقه (پنج پنجره دو دقیقه‌ای در طول زمان دو ساعت) برداشت انجام می‌گرفت. کروکی مربوط به محل عملیات در روز سوم و شکل آرایه به کار برده شده در شکل ۱ آورده شده است (مقیاس ذکر شده در این شکل تقریبی است). نرخ نمونه‌برداری در انفجار برابر ۱۰۰ و ۲۰۰ نمونه در ثانیه و برای میکروترمورها ۵۰ و ۱۰۰ نمونه در ثانیه انتخاب شد. البته در پردازش داده‌ها نرخ نمونه‌برداری برای انفجارها ۲۰۰ و برای میکروترمورها برابر ۱۰۰ نمونه در ثانیه انتخاب شد. این گزینش علاوه بر این که

تاخیری در حدود ۱ میلی ثانیه وجود داشت.

۴ پردازش داده‌ها

پردازش داده‌ها با نرم‌افزار DSP انجام شد. شایان ذکر است که در تعبیر و تفسیر مربوط به این مطالعه بازه بسامدی تا ۱۰ هرتز مورد نظر بوده است. این بازه به سه دلیل به شرح ذیل انتخاب شد: نخست آن که محتوای بسامدی چندین زمینلرزه مربوط به مناطق نزدیک به محل مورد مطالعه (شهرری و ورامین)، دامنه‌های قابل توجه، در همین بازه بسامدی قرار داشتند. دوم آن که میکروترموورها در بسامدهای بالا به نوبه حساس‌تر می‌شوند و هر چه به طرف محدوده این بسامدها می‌رویم، اثر نوفه‌های ناشی از فعالیت‌های انسانی تولید شده در محدوده محل مورد مطالعه، روی داده‌های برداشت شده بیشتر می‌شود. جداسازی این نوفه‌ها مستلزم شناسایی کانون‌های تولید کننده آنها است که در مورد میکروترموورها تقریباً ممکن نیست. سومین و مهم‌ترین دلیل، آن که فاکتور تقویت دامنه‌های بزرگ مربوط به لایه‌های آبرفتی با ضخامت قابل توجه است که در این مطالعه بسامدهای مربوط به آنها غالباً در همین محدوده انتخابی قرار گرفته‌اند. در پردازش داده‌ها از مفاهیمی استفاده شده است که در زیر به‌طور مختصر به آنها اشاره شده است:

در روش *ناکامورا* یا روش *تک‌ایستگاهی*، نسبت طیفی عبارت از تقسیم طیف دامنه مولفه افقی به طیف دامنه مولفه قائم در همان ایستگاه است. در روش ایستگاه مرجع نسبت طیفی عبارت از تقسیم طیف دامنه مولفه افقی در ایستگاه خاک به طیف دامنه مولفه افقی در ایستگاه مرجع است (برنو و ون، ۱۹۹۶). کاربرد عملگر *همینگ* برای تصحیح خطایی است که در اثر قطع یکباره نگاشت، چه در هنگام برداشت داده‌ها و چه در موقع پردازش در تقسیم نگاشت به پنجره‌های مساوی به‌وجود می‌آید. در نرم کردن به روش سه نقطه‌ای به جای سه نقطه کنار هم در یک منحنی، میانگین آنها قرار داده می‌شود.

نحوه پردازش داده‌ها در مورد انفجار و میکروترموورها نسبت به هم دارای تفاوت‌هایی است. در زیر به هر یک از آنها جداگانه پرداخته می‌شود.

الف) پردازش داده‌های مربوط به انفجار: ابتدا از میان تعداد

نقاط برداشت شده، تعداد نقاط مربوط به انفجار اصلی و تعدادی از نقاط که مربوط به امواج بازتابی از روی اعماق زیاد بودند، از کل نگاشت جدا شد. در مرحله بعد، بر روی پنجره حاصل، عملگر *همینگ* اعمال شد و سپس از نتیجه به‌دست آمده، طیف فوریه گرفته شد. در آخر نیز نسبت‌های طیفی *ناکامورا*، طیف افقی به طیف عمودی، و نسبت‌های طیفی دو ایستگاه خاکی نسبت به ایستگاه مرجع به دست آمد.

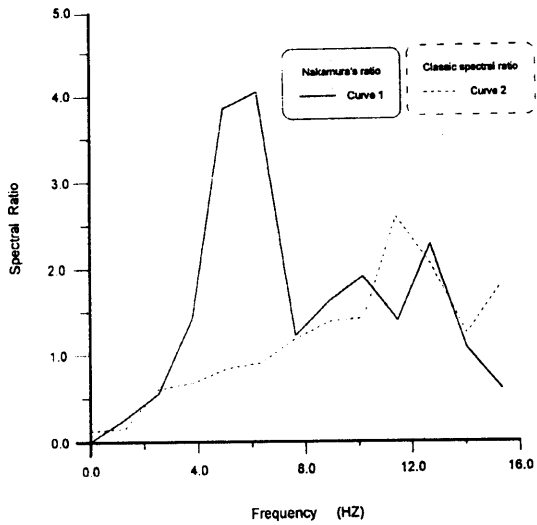
ب) پردازش داده‌های مربوط به میکروترموورها: ابتدا از میان دو دقیقه نگاشت، سه پنجره ۲۰ ثانیه‌ای انتخاب شد. روی هر پنجره عملگر *همینگ* اعمال شد. سپس از نگاشت حاصل، طیف فوریه گرفته شد. در مرحله بعد هر یک از سه پنجره به دست آمده به روش سه نقطه‌ای نرم شد و در آخر متوسط نهایی برای یک مولفه یک ایستگاه به‌دست آمد. برای دو مولفه دیگر نیز کلیه مراحل بالا تکرار شد. در آخرین مرحله پردازش، نسبت‌های *ناکامورا* برای هر ایستگاه و نسبت‌های طیفی دو ایستگاه خاکی نسبت به ایستگاه مرجع به‌دست آمد. شایان ذکر است که هر چه طول پنجره مورد استفاده بیشتر باشد نتیجه کار از ثبات بیشتری برخوردار خواهد بود.

- مقایسه روش *ناکامورا* با روش ایستگاه مرجع برای انفجار

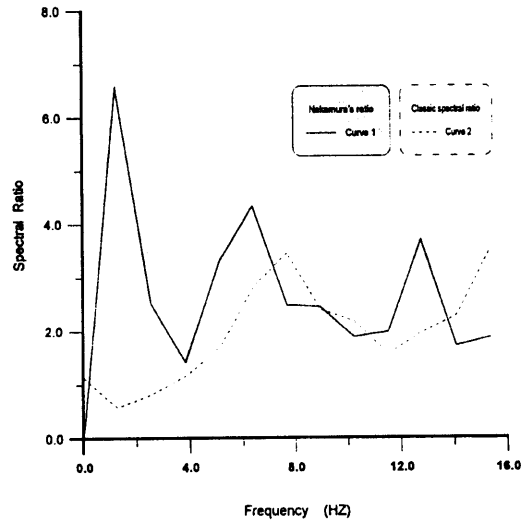
برای ایستگاه اول خاک (شکل ۲) و برای ایستگاه دوم خاک (شکل ۳) فاکتور تقویت دامنه به‌دست آمده در روش *ناکامورا* به طور متوسط از مقدار به‌دست آمده از روش ایستگاه مرجع، بزرگ‌تر است.

- مقایسه روش *ناکامورا* با روش ایستگاه مرجع برای میکروترموورها

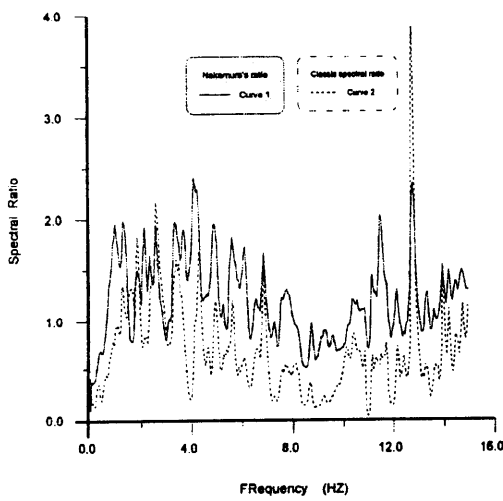
ایستگاه اول خاک: با توجه به شکل ۴، چنان‌که مشهود است، به جز در سه نقطه یعنی در بسامدهای ۱/۸ هرتز، ۸/۲ هرتز و در ۱۰/۰ هرتز، در بقیه بسامدها مقادیر فاکتور تقویت دامنه به‌دست آمده از روش *ناکامورا* از مقادیر متناظر در روش ایستگاه مرجع بزرگ‌تر هستند. در مجموع نیز اگر متوسط مقادیر را در نظر بگیریم، این حکم صادق است. نکته قابل توجه دیگر این‌که به جز در دو نقطه، قله‌های دو



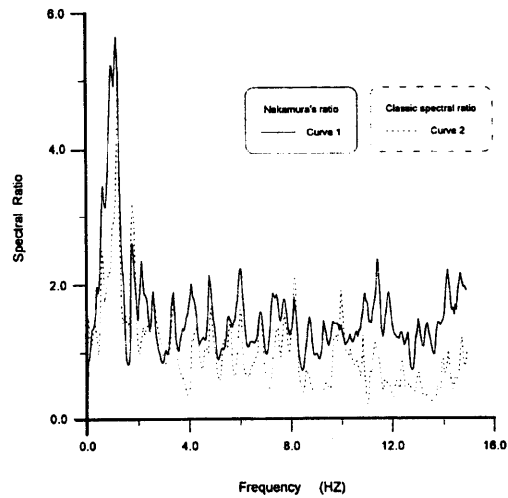
شکل ۳. مقایسه روش ناکامورا با ایستگاه مرجع در ایستگاه دوم خاک (انفجار - روز سوم).



شکل ۴. مقایسه روش ناکامورا با ایستگاه مرجع در ایستگاه اول خاک (انفجار - روز سوم).



شکل ۵. مقایسه روش ناکامورا با ایستگاه مرجع در ایستگاه دوم خاک (میکروترمورها - روز سوم).



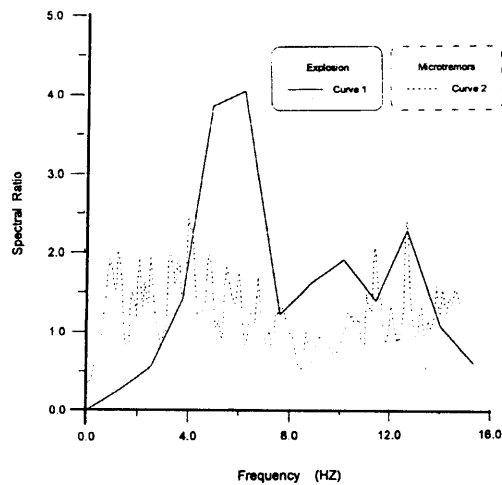
شکل ۶. مقایسه روش ناکامورا با ایستگاه مرجع در ایستگاه اول خاک (میکروترمورها - روز سوم).

- مقایسه بین انفجار و میکروترمورها برای روش ناکامورا

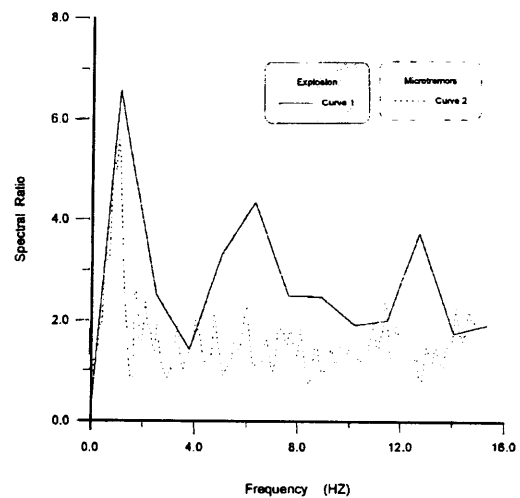
ایستگاه اول خاک: با توجه به شکل ۵، هر دو طیف یک قله شاخص دارند. برای انفجار این قله در بسامد $1/3$ هرتز فاکتور تقویت دامنه با مقدار $6/7$ و برای میکروترمورها در بسامد $1/2$ هرتز با مقدار $5/6$ است.

منحنی روند تغییرات مشابهی را نشان می‌دهند.

ایستگاه دوم خاک: با توجه به شکل ۴، مقادیر به دست آمده از روش ناکامورا، فاکتور تقویت دامنه حاصل به جز در دو نقطه مربوط به بسامدهای $1/9$ و $2/6$ هرتز در سایر نقاط از مقادیر متناظر به دست آمده از روش ایستگاه مرجع بزرگ‌تر است. برای متوسط مقادیر نیز این حکم صادق است.



شکل ۷. مقایسه بین نسبت‌های طیفی مربوط به انفجار و میکروترومورها برای روش ناکامورا در ایستگاه دوم خاک (روز سوم).



شکل ۶. مقایسه بین نسبت‌های طیفی مربوط به انفجار و میکروترومورها برای روش ناکامورا در ایستگاه اول خاک (روز سوم).

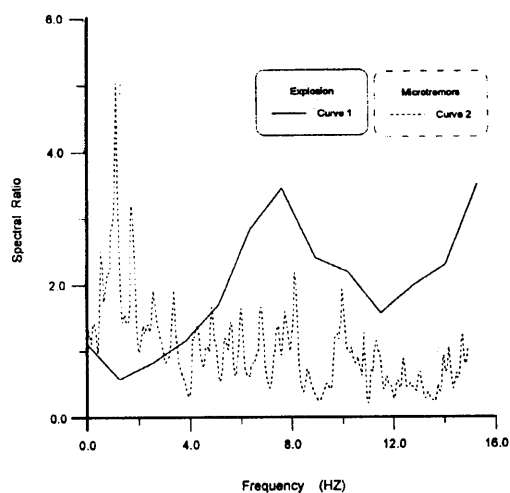
تقویت دامنه ناشی از روش ایستگاه مرجع که در آن دامنه گرفته شده از دو نوع مصالح در محاسبات وارد می‌شوند. لیکن چگونگی تاثیر و میزان دخالت عامل رفتار خطی و غیرخطی مصالح در تعداد فاکتور تقویت دامنه نیاز به بررسی‌های بیشتری دارد.

ایستگاه دوم خاک: با توجه به شکل ۷، برای میکروترومورها در دو محدوده، تقویت صورت نگرفته است. محدوده اول شامل بسامدهای کمتر از 0.6 هرتز و محدوده دوم شامل بسامدهای بین 0.8 تا 10.0 هرتز است. در محدوده بسامدی بین 0.6 تا 8.0 هرتز، فاکتور تقویت دامنه بین حداقل 1.0 تا حداکثر 1.7 تغییر می‌کند. در مورد انفجار تا بسامد حدود 2.8 هرتز تقویت صورت نگرفته است. صرف‌نظر از قله شاخص آن، فاکتور تقویت در فاصله باقی‌مانده بین 1.0 تا 2.2 تغییر می‌کند. شاخص‌ترین قله برای انفجار در بسامد 5.1 هرتز با مقدار 4.0 و برای میکروترومورها در بسامد 4.1 هرتز با مقدار 2.4 است. در این ایستگاه با این که مقادیر فاکتور تقویت دامنه برای انفجار و میکروترومورها تا حدودی نزدیک به هم هستند، اما روند تغییرات آنها با هم متفاوت است. با توجه به شکل ۷ احتمالاً می‌توان گفت که شاخص‌ترین قله‌ها در انفجار و میکروترومورها به یکدیگر

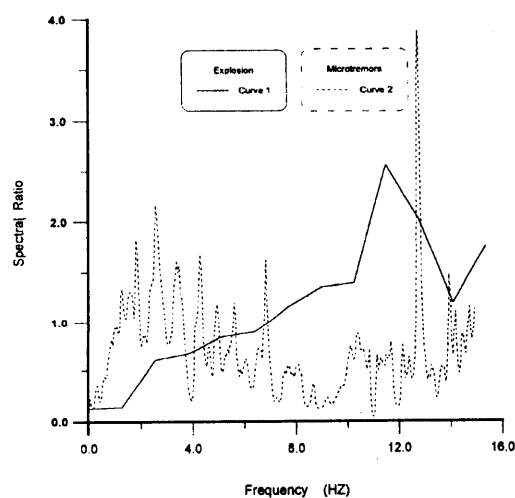
بعد از این قله، فاکتور تقویت دامنه برای انفجار بین حداقل $1/4$ و حداکثر $4/3$ تغییر می‌کند و برای میکروترومورها بین حداقل $1/0$ و حداکثر $2/6$ است. با این که هر دو نوع موج روند تقریباً مشابهی در تغییرات نشان می‌دهند، اما مقادیر متفاوت برای فاکتور تقویت دامنه را به دست می‌دهند. نکته قابل توجه دیگر این که هیچ یک از قله‌های شاخص، به جز شاخص‌ترین آنها برهم منطبق نیستند. صرف‌نظر از این تفاوت‌ها، مقدار تقویت دامنه به دست آمده از انفجار به‌طور متوسط از مقدار به دست آمده برای میکروترومورها بزرگ‌تر است. با توجه به این که بررسی حاضر محدوده بسامدی یکسانی برای دو نوع موج در نظر گرفته است، تفاوت مشاهده شده در فاکتورهای تقویت دامنه دو موج را می‌توان از دیدگاه فازهای موجود در این دو نوع موج و مقایسه آنها را که خود موضوع تحقیق دیگری است در یک تحقیق جداگانه، مورد بررسی قرار داد. همچنین علت تفاوت تناوب غالب حاصل از انفجار با میکروترومور را می‌توان به حضور نوفه‌های همراه با میکروترومور نسبت داد.

اصولاً یکی از عوامل موثر در رفتار خاک و اصولاً هر نوع مصالح دیگر محدوده رفتار خطی و غیرخطی آن است که می‌تواند بر مقدار تقویت دامنه موثر باشد؛ به‌ویژه در فاکتور

گرفته است. در مورد این ایستگاه نیز مقدار فاکتور تقویت دامنه در انفجار به طور متوسط از فاکتور تقویت دامنه در میکروترمورها بزرگ‌تر است.



شکل ۸. مقایسه بین نسبت‌های طیفی مربوط به انفجار و میکروترمورها برای روش ایستگاه مرجع در ایستگاه اول خاک (روز سوم).



شکل ۹. مقایسه بین نسبت‌های طیفی مربوط به انفجار و میکروترمورها برای روش ایستگاه مرجع در ایستگاه دوم خاک (روز سوم).

در مقایسه بین دو روش ناکامورا و ایستگاه مرجع، برای انفجار و میکروترمورها، هم برای ایستگاه اول و هم برای ایستگاه دوم خاک مقدار فاکتور تقویت دامنه به دست آمده از روش ناکامورا به طور متوسط از مقدار به دست آمده از

نزدیک هستند. در هر صورت مقدار فاکتور تقویت به دست آمده از انفجار به طور متوسط از مقدار به دست آمده از میکروترمورها بزرگ‌تر است.

با توجه به نتایج حاصل از دوا ایستگاه اول و دوم خاک می‌توان گفت که هر دو نوع موج قله‌ای شاخص در بسامدی نزدیک به هم دارند. اما این که این بسامد را، بسامد غالب در کل منطقه بدانیم، نیاز به اطلاعات دقیق‌تری از تغییرات مقدار سرعت برشی در خاک و همچنین تغییرات ضخامت لایه آبرفتی در اطراف منطقه مورد مطالعه دارد. شایان ذکر است که مقدار سرعت برشی در محل ایستگاه ۳۷۵ متر بر ثانیه و ضخامت آبرفت در حدود ۳۰ متر است. ولی تعمیم مقادیر ذکر شده به اطراف منطقه و استفاده از آنها به دلیل گودبرداری‌های مکرر باید همراه با دقت لازم صورت پذیرد.

مقایسه بین انفجار میکروترمورها برای روش ایستگاه مرجع

ایستگاه اول خاک: با توجه به شکل ۸، نحوه تغییرات در انفجار به صورت یک منحنی با یک قله تنها است و در محدوده ابتدایی این نگاهت، تقویتی صورت نگرفته است. در صورتی که برای میکروترمورها برعکس انفجار، در محدوده ابتدایی تا بسامد حدود ۲/۰، مقدار فاکتور تقویت بالا است و شاخص‌ترین قله نیز در همین محدوده و در بسامد ۱/۳ هرتر رخ داده است و نتایج به دست آمده از این دو نوع موج با هم متفاوت است. در این جا هم مقدار فاکتور تقویت به دست آمده از انفجار به طور متوسط کمی بزرگ‌تر از مقدار به دست آمده برای فاکتور تقویت دامنه میکروترمورها است.

ایستگاه دوم خاک: با توجه به شکل ۹ برای انفجار قله شاخص، خارج از محدوده بررسی است. اما ذکر آن به منظور توجه به شباهت موجود بین این ایستگاه و ایستگاه اول از نظر روند تغییرات بوده است. میزان تقویت صورت گرفته در محدوده بسامدی ۷/۷ تا ۱۰/۰ هرتر است. برای میکروترمورها در محدوده ابتدایی و انتهایی بازه بسامدی مورد بررسی، تقویت صورت نگرفته است و در محدوده میانی بین بسامدهای حدود ۱/۲ تا ۶/۸ هرتر تقویت صورت

روش ایستگاه مرجع بزرگ‌تر است.

در مقایسه بین انفجار و میکروترومورها، برای روش ناکامورا و روش ایستگاه مرجع، مقدار تقویت دامنه به‌دست آمده از انفجار در هر دو ایستگاه به‌طور متوسط از مقدار به‌دست آمده از فاکتور تقویت دامنه میکروترومورها بزرگ‌تر است.

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج به‌دست آمده در این مطالعه، به‌نظر می‌رسد که انجام یک تصحیح در فاکتور تقویت دامنه برای روش ایستگاه مرجع لازم است. این تصحیح در درجه اول به دلیل هوازگی سنگ رخنمون صورت می‌گیرد. عامل بعدی تفاوت بین سنگ بستر و سنگ رخنمون، به لحاظ فشاری است که از طرف لایه آبرفت به سنگ بستر وارد می‌شود در صورتی که چنین فشاری به سنگ رخنمون وارد نمی‌شود. در تعیین فاکتور تقویت دامنه، استفاده از امواج ناشی از جنبش ضعیف، به دلیل این‌که نوفه کم‌تری دارند و منشا آنها مشخص است، معتبرتر از امواج ناشی از میکروترومورها است. در مقابل تفاوت تناوب غالب حاصل از انفجار با میکروترومور، به حضور نوفه‌های همراه با میکروترومور نسبت داده می‌شود.

تشکر و قدردانی

بر خود لازم می‌دانیم که از نظرات علمی و فنی مطرح شده توسط داوران محترم برای اصلاح مطالب ارائه شده در این مقاله تشکر نمائیم. همچنین از آقای مهندس سدیدخوی که در طول عملیات به‌طور شبانه روز در برداشت داده‌های صحرائی همکاری داشته‌اند صمیمانه سپاسگزاری می‌کنیم. از مسئولین کارخانه سیمان تهران نیز به خاطر تسهیلاتی که در طول اجرای عملیات در اختیار قرار داده‌اند قدردانی، و از شورای پژوهشی دانشگاه تهران به‌خاطر کمک مالی در قالب طرح تحقیقاتی تعیین عمق و ضخامت پلایا در منطقه خوریابانک با استفاده از روش لرزه‌ای بازتابی کم عمق به شماره ۶۵۲/۲/۷۲۳ سپاسگزاری می‌شود.

منابع

- Aki, K., 1988, Local site effect on ground motion in: J.L. Von Thun (Editor), *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **11**, Recent advances in ground motion evaluation: Am. Soc. Civil Eng. Geotechnical Spec. Publ., **20**, 103-155.
- Aki, K., 1993, Local site effect on weak and strong motion: *Tectonophysics*, **218**, 93-111.
- Bard, P.Y., 1995, The new method of microzonation, a site-dependent seismic desing, 2nd international conference on seismology and earthquake engineering: May 1995, Tehran, I.R. Iran.
- Beresnev, I.A., and Wen, K.L., 1996, The accuracy of soil response estimate using soil-to-rock spectral ration: *Bull. Seism. Soc. Am.*, **86**, 519-523.
- Chavez-Garsia, F.J., and Bard, P.Y., 1994, Site effects in Mexico City eight years after the September 1985 Michoacan earthquake: *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, **13**, 229-247.
- Field, H.E., 1996, Spectral amplification a sediment-filled vally exhibiting clear basin-edge-induced waves: *Bull. Seism. Soc. Am.*, **86**, 991-1005.
- Kanai, K., Osada, K., and Yoshizawa, S., 1954, Observation study of earthquake motion in the depth of ground: *Bull. Earthquake Res. Inst. Tokyo*, **32**, 361-370.
- Milana, G., Barba, S., Del Pezzo, E., and Zambonelli, E., 1996, Site response from ambient noise measurement: New perspective from an array study in Central Italy: *Bull. Seism. Soc. Am.*, **86**, 320-328.
- Seekins, L.C., Wennerberg, L., Margherti, L., and Liu, H.P., 1996, Site amplification at five location in Sanfrancisco California: A comparoson of S wave, coda, and microtremors: *Bull. Seism. Soc. Am.*, **63**, 627-635.
- Udwadia, F.E., and Trifunac, M.D., 1973, Comparison of earthquake and microtremors ground motion in El Centro, California: *Bull. Seism. Soc. Am.*, **63**, 1227-1253.
- Zoeppritz, K., 1919, *Über reflexion und durchgang seismischer wellen durch un stetigkerlsflaschen*; Berlin, *Über Erdbebenwellen VII B*, Nachrichten Koniglichen Gesechaft der Wissenschaften Zu Gottingen, Mathe _ Phys., **K1**, 57-84.