جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

اندازه گیری های میکروترمور ابزاری مناسب در مطالعات پاسخ ساختگاه

عباس قلندرزاده
استادیار گروه مهندسی عمران - دانشکده فنی - دانشگاه تهران
رامین معتمد
دانشجوی دکتری مهندسی ژئوتکنیک لرزه آزمایشگاه ژئوتکنیک - گروه عمران - دانشگاه توکیو ژاپن

(تاریخ دریافت ۸۲/۷/۱۲ ، تاریخ تصویب ۸۳/۷/۱۱)

چکیده

در یک مطالعه جامع بمنظور پهنه بندی لرزه ای شهر ارومیه در ۲۲۰ نقطه اندازه گیری میکروترمورها انجام گردیده است. این اندازه گیری ها به صورت همزمان بر روی رسوب و نقطه مرجع سنگی صورت گرفته و با استفاده از رکوردهای ثبت شده ابعاد مختلفی از مسئله اثر ساختگاه مورد بررسی قرار گرفته است. در ابتدا روشهای مختلف آنالیز داده های میکروترمور مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور محدوده استفاده دو روش متداول H/V [۱] و Hs/Hr [۲] مورد تحقیق قرار گرفته اند. نتایج نشان می دهد زمانی که فاصله نقطه روی رسوب از نقطه مرجع زیاد باشد روش Hs/Hr قادر به نمایش پیک تشدید فرکانس غالب ساختگاه نمی باشد ولی روش H/V به خوبی مقادیر فرکانس غالب و ضریب تقویت ساختگاه را نشان می دهد. در حالتی که نقطه روی رسوب نزدیک به نقطه مرجع باشد روش Hs/Hr تا حدی شرایط ساختگاه را نشان می دهد، اگرچه باز هم روش H/V جوابهای بهتری را می دهد. در این تقسیم بندی نقاطی بر روی رسوب که فاصله شان تا مرجع سنگی کمتر از ۲۵۰۰ متر بوده بعنوان فاصله نزدیک محسوب شده و در غیر اینصورت بعنوان فاصله دور معرفی شده اند. نهایتا اینگونه نتیجه گیری شده است که روش H/V بهترین روش در آنالیز داده های میکروترمور می باشد. همچنین فاصله ۲۵۰۰ متر بعنوان یک شاخص در اعتبار بکارگیری روش Hs/Hr معرفی گردید. در ادامه کاربرد میکروترمورها در تعیین اثر توپوگرافی سطحی زمین بر پاسخ ساختگاه مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور نخست توانایی و پتانسیل میکروترمورها در شناسایی و تخمین اثر توپوگرافی بر پاسخ ساختگاه با استفاده از اندازه گیری های انجام شده در پنج نقطه در تپه شهرک الکترونیک ارومیه مورد ارزیابی قرار گرفته است. با مقایسه دو مولفه افقی (شمال-جنوب و شرق-غرب) داده های رکورد شده با مولفه قائم و منحنی های طیفی آنها میزان اثر توپوگرافی سطحی زمین بر پاسخ ساختگاه مشخص شده است. مقایسه نتایج حاصله با شرایط زمین شناسی منطقه مورد مطالعه نشان می دهد که میکروترمورها کارایی خوبی در تخمین اثر توپوگرافی بر پاسخ زمین دارند. با استفاده از نتایج بدست آمده، نقاط مرجع بیرون زدگی سنگی مورد تحقیق قرار گرفته اند. بررسی ها نشان می دهد که در تعیین نقاط مرجع حتما لازم است اثر توپوگرافی بررسی شده و نقطه مرجع انتخابی عاری از هرگونه اثر توپوگرافی باشد.

واژه های کلیدی : اندازه گیری های میکروترمور، روش Hs/Hr و H/V، اثر توپوگرافی، فرکانس غالب[۳]، ضریب تقویت[۴]

مقدمه

وقوع زمینلرزه‌های مخربی چون زلزله Michoacan 1985 مکزیک، زلزله Loma Prieta 1989 کالیفرنیا، زلزله Kobe 1995 ژاپن و زلزله Kocaeli 1999 ترکیه پتانسیل تاثیرگذاری زمین‌شناسی سطحی خاک را بر روی حرکت قوی زمین که به اصطلاح اثر ساختگاه (Site Effect) نامیده می شود، را نشان داده است. روشهای مختلفی برای تخمین مشخصات ساختگاه معرفی و بکار گرفته شده است که برای مطالعات پاسخ ساختگاه بکار گرفته می شوند. در میان روشهای مختلف استفاده از اندازه گیری های میکروترمور بخاطر ارزانی، سهولت عملیات و سرعت عمل مقبولیت فراوانی بخصوص در مناطق با لرزه خیزی متوسط و پائین یافته است.

جهت آنالیز داده های میکروترمور روشهای مختلفی وجود دارد. در حالت کلی این روشها را به دو دسته با استفاده از نقطه مرجع (Hs/Hr) و بدون استفاده از نقطه مرجع (H/V) تقسیم می کنند.

در روش Hs/Hr عقیده بر اینست که اثر مسیر[۵] و اثر منبع[۶] برای نقاط نزدیک بهم یکسان می‌باشند و اگر نقطهٔ مرجع[۷] عاری از هر گونه اثر ساختگاه باشد می‌توان آنرا بعنوان حرکت ورودی به لایه خاک در نظر گرفت و آنگاه نسبت طیفی بیانگر اثر ساختگاه می‌باشد. بعبارت دیگر با تقسیم طیف مولفه افقی میکروترمور ثبت شده به طیف حرکت ثبت شده بر روی مرجع سنگی می توان به تابع

جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

انتقالی[۸] خاک دست یافت. این روش اولین بار توسط Borchardt [۱] معرفی گردید و هنوز هم به میزان وسیعی مورد استفاده قرار می‌گیرد. استفاده از این روش برای آنالیز حرکات قوی[۹] و ضعیف زمین[۱۰] بسیار معمول است. استفاده از این روش برای میکروترمورها[۱۱] اولین بار توسط Kagami et al. [۲] بکار برده شد. مشکل اساسی در استفاده از این روش برای میکروترمورها اینست که بتوان موج رسیده مشترک به دو ایستگاه را تشخیص داد و این امر بسیار مشکل می‌باشد. برای رفع این مشکل دو راه حل ممکن وجود دارد: ۱ - استفاده از زمان مطلق جهت شناسایی موج مشترک بدون توجه به ظاهر موج ثبت شده، ۲ - فرض میانگین تعداد زیادی پنجره‌های رکورد شده در هر نقطه بعنوان حرکت در آن محل.

یافتن یک نقطهٔ مرجع مناسب یکی از مشکلات روش H_S/H_r است. در بعضی مناطق که بر روی دشتهای وسیع واقع گردیده‌اند یافتن یک نقطه بیرون‌زدگی سنگ بستر مشکل می‌باشد. در نتیجه روشهای دیگری برای تخمین مشخصات ساختگاه تدوین گردیدند که در آنها نیازی به وجود نقطهٔ مرجع نمی‌باشد. روش استفاده از نسبت‌های طیفی مؤلفهٔ افقی به مولفه قایم میکروترمورها (H/V)، اولین بار توسط Nogoshi and Igarashi [۳] بکار گرفته شد و سپس توسط Nakamura [۴] استفاده از آن جهت تعیین اثر ساختگاه عمومیت بیشتری یافت. بکار بردن این روش در تعداد زیادی از پروژه‌های تحقیقاتی که اخیراً انجام پذیرفته ثابت کرده است که این روش در تخمین پریود غالب خاک بسیار موثر بوده [۵-۶] و همچنین در تعیین ضریب تقویت خاک نیز می‌تواند بکار برده شود [۷-۸].

Lermo and Chavez–Garcia [۸] کاربرد اندازه‌گیریهای میکروترمور جهت تعیین مشخصات ساختگاه را با استفاده از دو روش Hs/Hr و H/V بررسی کردند. در نهایت نیز برای بررسی نتایج حاصله از میکروترمورها، آنها را با نتایج بدست آمده از آنالیز طیفی داده‌های حرکات قوی و ضعیف زمین مقایسه کردند. نتایج آنها نشان داد که بهترین روش آنالیز میکروترمورها روش H/V است و نتایج بدست آمده با استفاده از آن (فرکانس غالب و ضریب تقویت ساختگاه) همخوانی خوبی با نتایج بدست آمده از حرکات قوی و ضعیف زمین دارد.

با توجه به این موضوع که اندازه گیری های میکروترمور انجام شده در سطح شهر ارومیه به طور همزمان بر روی رسوب و مرجع سنگی صورت گرفته است، امکان آنالیز نقاط با هر دو روش می باشد. در مطالعه حاضر با انجام آنالیز داده ها روش مناسبتر جهت تعیین مشخصات ساختگاه (فرکانس غالب و ضریب تقویت) معرفی گردیده است.

اغلب پس از وقوع زمینلرزه‌های مخرب در نقاطی که توپوگرافی سطحی زمین ناهموار و پر از تپه است، اینگونه گزارش شده است که ساختمانهای واقع بر بالای تپه‌ها نسبت به آنهایی که در پای تپه قرار دارند دچار خسارت بیشتر و شدیدتری شده‌اند. مثالهایی از اینگونه مشاهدات را می‌توان در Levret et al. [۹]، (زمینلرزه Lambesc 1909 فرانسه)، Brambati et al. [۱۰] (زمینلرزه Friuli 1976 ایتالیا)، Siro [۱۱] (زمینلرزه Irpinia, 1980 ایتالیا) و Celebi [۱۲] (زمینلرزه ۱۹۸۵ شیلی) یافت. همچنین دلایل و مشاهدات دستگاهی فراوانی وجود دارد که توپوگرافی سطحی زمین به میزان زیادی دامنه و محتوی فرکانس حرکت زمین می‌تواند تغییر دهد. در مقالات Geli et al. [۱۳]، Faccioli [۱۴] و Finn [۱۵] می‌توان مروری بر این مطالعات دستگاهی یافت تاکنون بزرگترین اثر توپوگرافی ثبت شده در یک نقطه با شیب بسیار تند در جنوب آلپ بوده است که در آن نسبت طیفی نوک تپه به پای آن در یک محدودهٔ فرکانس محدود در حول ۵ هرتز به بیش از چندین ده برابر رسیده است [۱۶].

در سالهای اخیر مقالات زیادی در مورد تأثیرات ساختگاه بر حرکت زمین در خاکهای رسوبی و نرم و در شرایط زمین‌شناسی متفاوت نوشته شده است اما در مورد تأثیرات ساختگاه ناشی از تأثیر توپوگرافی کمتر مطالعه صورت گرفته است.[۱۷] Bard به مرور کارهای انجام گرفته در این زمینه پرداخته و عنوان کرده است که مقادیر ضریب تقویت در نوک کوهها و تپه‌ها بزرگتر بوده و در ته دره‌ها کاهش می‌یابد و نتایج مشاهده شده با نتایج بدست آمده از تئوری مطابقت خوبی دارند. در این حال مقادیر بزرگنمایی برای مؤلفه‌های افقی بزرگتر از مؤلفه قائم می‌باشد. وی همچنین عنوان کرد که حداکثر بزرگنمایی تقریباً به تیزی توپوگرافی بستگی داشته یعنی

جهت تهیه فایل WORD این مقاله به سایت DaneshResan.com مراجعه نمایید و عنوان مقاله را جستجو کنید
بیش از ۲ میلیون مقاله فارسی در این سایت موجود میباشد

هرچه شیب زمین تندتر گردد مقادیر بزرگنمایی بزرگتر می‌گردند.

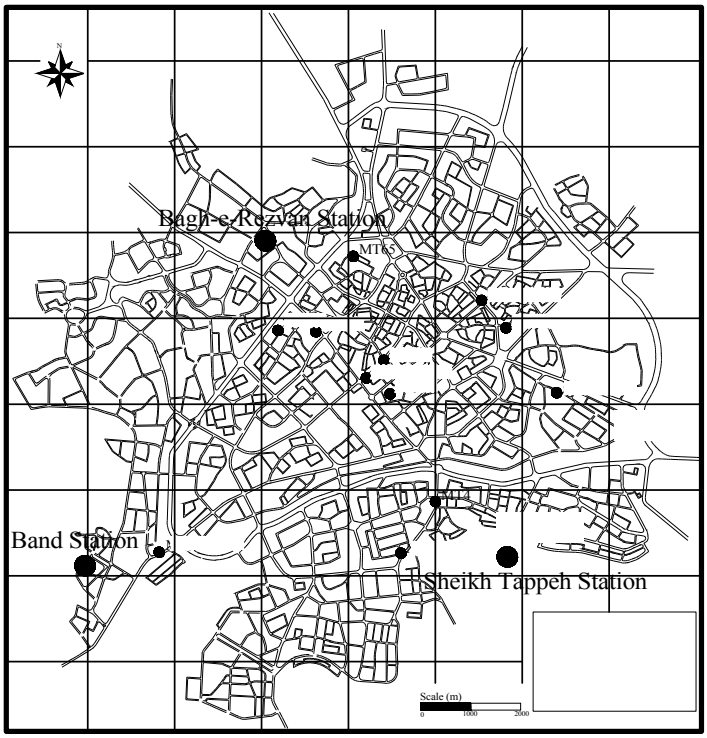
مطالعات انجام شده توسط انجمن مهندسین عمران ژاپن (JSCE) نیز نشان داده است که استفاده از اندازه گیری های میکروترمور در تعیین اثر ساختگاه ناشی از توپوگرافی سطحی زمین می تواند بسیار مفید و کاربردی باشد. [۱۸].

یکی دیگر از موارد اهمیت تاثیر توپوگرافی زمانی آشکار می گردد که برای آنالیز میکروترمورها از روش نقطه مرجع (Hs/Hr) استفاده شود. با توجه به این که در این روش فرض می شود اثرات ساختگاه در نقطهٔ مرجع نسبت به نقطهٔ بر روی رسوب به اندازهٔ کافی کوچک است و می‌توان حرکت زمین در آن را همان حرکت ورودی به لایه رسوب در زیر آن در نظر گرفت، درنتیجه متاثر شدن نقطه مرجع از اثر توپوگرافی یکی از محدودیت های مهم در روش Hs/Hr به حساب می آید.

Chavez–Garcia et al. [۱۹] به بررسی اثر ساختگاه ناشی از توپوگرافی با استفاده از روش H/V پرداختند و از روش Hs/Hr استفاده نکردند. آنها این دلیل را بیان کرده‌اند که ایستگاه مرجع خود نیز بر روی تپه قرار داشته و متأثر از اثر توپوگرافی می‌باشد. در روش Hs/Hr نقطهٔ مرجع نقش مهمی را ایفا می‌کند و پیدا کردن یک نقطهٔ مرجع مناسب که تحت اثر ساختگاه نبوده باشد یکی از چالشهای اصلی در این روش می‌باشد، حتی اگر آن نقطه بر روی بستر سنگی هم واقع شده باشد. این محققین مطالعه خود را با استفاده از داده های حرکت ضعیف زمین و میکروترمورها که بر روی تپه ای واقع در ناحیه Epire درشمال یونان ثبت شده است، انجام داده اند. نتایج حاصله نشان داده است که تفاوت بین دو مولفه افقی حرکات ثبت شده آشکار بوده و حتی در منحنی های نسبت طیفی دو مولفه افقی نیز این تفاوتها قابل مشاهده بوده اند. نتایج کارهای عددی Sanchez–Sesma and Campillo [۲۰] این پیشنهاد را می‌کند که برای جلوگیری از متأثر شدن نقطهٔ مرجع بوسیلهٔ توپوگرافی منطقه لازمست که نقطهٔ مرجع بستر سنگی بر روی یک سطح صاف و هموار قرار داشته باشد و حداقل به اندازه دو برابر بعد افقی منطقه توپوگرافی از آن فاصله داشته باشد. در عمل برآوردن نیاز فوق کاری بس مشکل می‌باشد چون یا سطح صاف در نزدیکی بستر سنگی بوسیله لایه رسوب پوشیده شده و یا تحت تأثیر اثر توپوگرافی قرار دارد. امروزه اثر توپوگرافی بر پاسخ زمین به عنوان یکی دیگر از جلوه های اثر ساختگاه شناخته می شود. دلایل و مشاهدات دستگاهی فراوانی وجود دارد که توپوگرافی سطحی زمین به میزان زیادی دامنه و محتوی فرکانس حرکت زمین را می‌تواند تغییر دهد. با توجه به فراگیر شدن استفاده از روش میکروترمورها، آگاهی از تاثیر توپوگرافی بر رکوردهای مربوطه بسیار ضروری است. در صورتیکه که بتوان نشان داد اثر توپوگرافی با داده های میکروترمور قابل اندازه گیری است، توانایی و مزیت دیگری از این داده ها اثبات می شود. جهت تحقیق بیشتر این امر، تعداد ۵ نقطه اندازه گیری میکروترمور در تپه شهرک الکترونیک ارومیه که معرفی از یک توپوگرافی ناهموار در سطح زمین است، انجام گردید. بررسی داده های اندازه گیری شده و آنالیز آنها نشان می دهد میکروترمورها پتانسیل خوبی در تشخیص اثر ساختگاه ناشی از توپوگرافی سطحی زمین دارند. با استفاده از نتایج حاصله، نقاط مرجع اندازه گیری شده بر روی بیرون زدگی سنگی[۱۲] نیز از حیث میزان متاثر شدن از توپوگرافی مورد بررسی قرار گرفته اند.

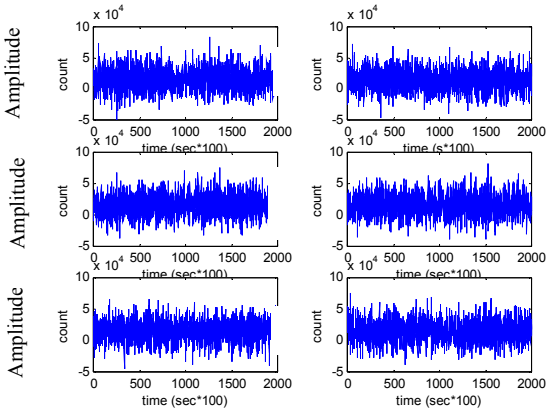
مقایسه دو تکنیک Hs/Hr و H/V برای آنالیز داده های میکروترمورها

اندازه گیری های میکروترمور به تعداد ۲۲۰ نقطه در سطح شهر ارومیه انجام پذیرفت. در شکل (۱) موقعیت نقاط مورد بررسی در این مطالعه نشان داده شده است. نقاط اندازه گیری شده بر روی رسوب با MT و نقاط مرجع سنگی با RT نشان داده شده اند. موقعیت دقیق نقاط بوسیله سیستم اندازه گیری GPS تعیین گردید. این اندازه گیری ها به طول ۱۲۰ ثانیه در هر نقطه و چندین بار با فاصله ۱۵ دقیقه از هم صورت گرفت. بگونه ای که در هر نقطه حداقل ۴ داده ۱۲۰ ثانیه ای برداشت گردید. عملیات در ساعات نیمه شب انجام گرفته است تا میزان نویز وارده به داده ها اعم از ترافیک و فعالیتهای انسانی حداقل باشد. در شکل (۲) یک نمونه از داده میکروترمور برداشت شده نشان داده شده است. دراین بخش از تحقیق، روشهای مختلف آنالیز میکروترمورهـــــا



شکل ۱ : موقعیت نقاط مورد مطالعه در سطح شهر ارومیه.

شامل روش Hs/Hr و روش H/V مورد بررسی قرار گرفته و مقایسه شده اند. در گزینش نقاط مورد بررسی سعی شده است که از تمامی سطح شهر با شرایط زمین‌شناسی متفاوت در آن حضور داشته باشند. در آنالیز، نقاط به دو دسته فاصله نزدیک و دور نسبت به نقطهٔ مرجع‌شان تقسیم بندی شده اند. نقاطی که فاصله شان تا نقطه مرجع کمتر از ۲۵۰۰ متر بوده، جزو فاصله نزدیک و در غیر اینصورت جزو فاصله دور محسوب گردیدند.



شکل ۲ : میکروترمور رکورد شده در نقطه MT103 (مولفه E-W).

در جدول (۱) اسامی نقاط انتخابی بهمراه فاصله تا نقطهٔ مرجع، توصیف کلی از شرایط زمین‌شناسی، [۲۱-۲۲] و تعداد داده ۱۲۰ ثانیه‌ای بکار رفته شده جهت آنالیز نشان داده شده است. با توجه به مطالعات صورت گرفته [۲۳] از طول پنجره زمانی ۲۰ ثانیه و میزان همپوشانی ۱۰٪ و نوع پنجره Hamming استفاده گردیده است. در تهیه طیف نیز از روش جدید طیف ضربی قطعه ای[۱۳] استفاده گردیده است. جزئیات بیشتر در این زمینه را می توان در مرجع [۲۴] یافت.

در این قسمت از تمامی داده های موجود برای آنالیز استفاده گردیده است و منحنی های نمایش داده شده همگی مقادیر میانگین را نشان می دهند.

فاصله دور از نقطه مرجع

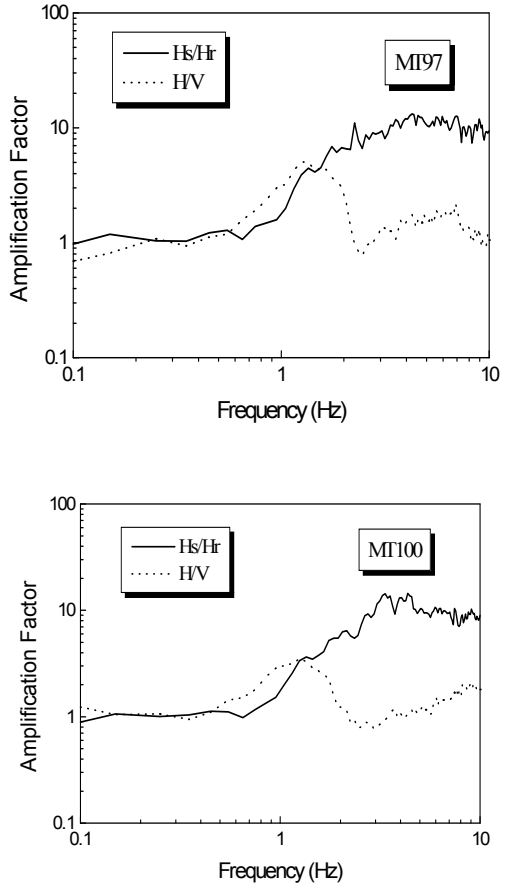
نقاطی که در این بخش مورد بررسی قرار گرفته اند بگونه ای بوده اند که فاصله آنها تا نقطه مرجعشان بیش از ۲۵۰۰ متر بوده است. گرچه بهنگام انجام اندازه گیری های میکروترمور حداکثر سعی بر این بوده است که نقاط بر روی رسوب در حداقل فاصله از ایستگاه مرجع قرار داشته باشند.

در شکل (۳) و (۴) منحنی های نسبت طیفی و انحراف معیار محاسبه شده در دو نقطه MT97 و MT100 به

عنوان مثال آورده شده است. بررسی نتایج حاصله از ۶ نقطه آنالیز شده موارد زیر را نشان می دهد:

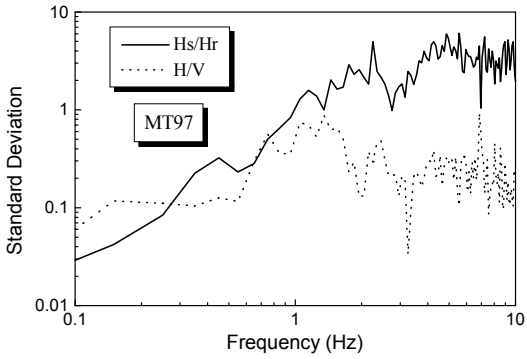
جدول ۱ : مشخصات نقاط آنالیز شده.

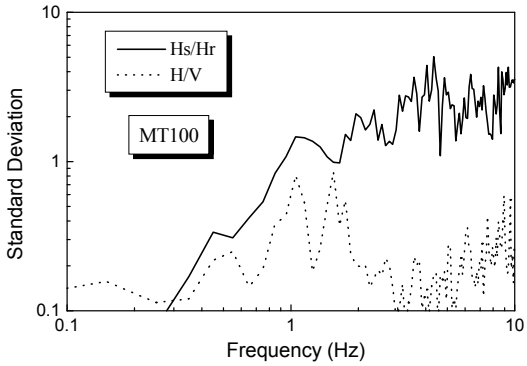
فاصله تا نقطهٔ مرجع (km)	تعداد رکورد ۱۲۰ ثانیه‌ای	شرایط زمین‌شناسی	محل نقطهٔ مرجع	نقطهٔ مرجع	نقطه بر روی رسوب
۱,۱۹۲۲	۵	رسوب با ضخامت بیش از ۳۰متر	باغ رضوان	RT8	MT65
۲,۰۱۲۵	۸	رسوب با ضخامت کم	شیخ تپه	RT1	MT4
۲,۱۹۸۱	۸	رسوب با ضخامت کم	شیخ تپه	RT1	MT2
۲,۱۹۸۱	۴	رسوب با ضخامت بیش از ۳۰متر	باغ رضوان	RT12	MT62
۲,۱۹۸۱	۵	رسوب با ضخامت بیش از ۳۰متر	باغ رضوان	RT8	MT66
۲,۲۰۰	۷	رسوب با ضخامت کم	بند	RT4	MT32
۲,۷۹۸۰	۴	رسوب نرم با ضخامت نزدیک ۳۰ متر	باغ رضوان	RT10	MT82
۳,۱۰۸۵	۴	رسوب نرم با ضخامت نزدیک ۳۰ متر	باغ رضوان	RT10	MT83
۳,۱۰۸۵	۴	رسوب نرم با ضخامت نزدیک ۳۰ متر	باغ رضوان	RT10	MT84
۳,۱۰۸۵	۵	رسوب نرم با ضخامت ۳۰ متر	شیخ تپه	RT12	MT97
۴,۱۶۸۷	۶	رسوب نرم با ضخامت ۳۰ متر	شیخ تپه	RT12	MT100
۴,۷۱۱۵	۵	رسوب نرم با ضخامت ۳۰ متر	شیخ تپه	RT12	MT102



شکل ۳ : منحنی های نسبت طیفی در حالت دور از نقطه مرجع.

۱- با توجه به منحنی‌های نسبت طیفی مشاهده می‌گردد که در روش نقطهٔ مرجع هرگاه فاصله نقطه روی رسوب تا نقطهٔ مرجع زیاد باشد، تابع انتقال بدست آمده قادر به نمایش پیک تشدید فرکانس غالب ساختگاه به وضوح نیست و در اکثر موارد هیچ‌گونه پیکی را نشان نمی‌دهد و منحنی بصورت صعودی حرکت می کند.

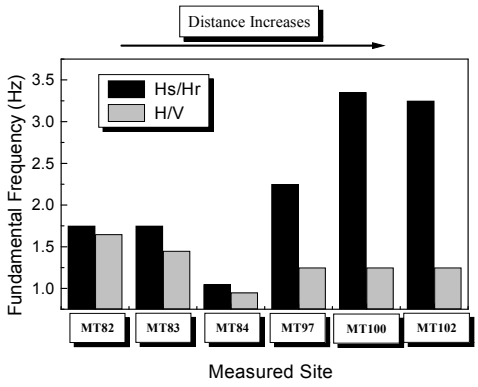




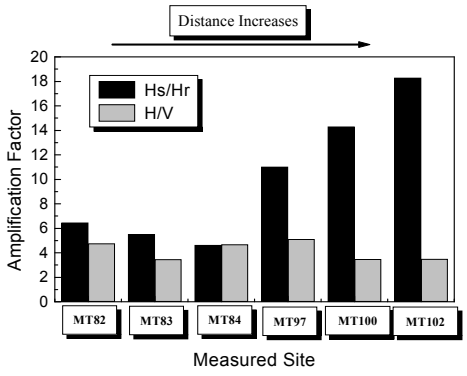
شکل ۴ : منحنی های انحراف معیار در حالت دور از نقطه مرجع.

۲- با بررسی منحنی‌های انحراف معیار در محدوده فرکانس مورد نظر (۰,۱ الی ۱۰ هرتز) اینگونه می‌توان بیان کرد که تقریباً در تمامی این محدوده مقادیر انحراف معیار بدست آمده با استفاده از روش نقطهٔ مرجع مقادیر بزرگتری را نسبت به روش H/V دارد. این تفاوت در مقادیر بیش از فرکانس غالب فاحش‌تر و بیشتر می‌گردد.

۳- با تمرکز بر روی مقادیر فرکانس غالب و ضریب تقویت محاسبه شده با استفاده از دو روش مورد بحث این اختلافات بیشتر نمود پیدا می‌کند. همانگونه که در شکل (۵) مشخص است در تمامی نقاط فرکانس قرائت شده از روش نقطهٔ مرجع عدد بزرگتری بوده و تفاوت میان فرکانس غالب گاهی خیلی فاحش می گردد. همچنین مشاهده می گردد که این تفاوتها با افزایش فاصله بیشتر می گردد.



شکل ۵ : مقایسه مقادیر فرکانس غالب بدست آمده از دو روش Hs/Hr و H/V برای حالت دور از نقطه مرجع.

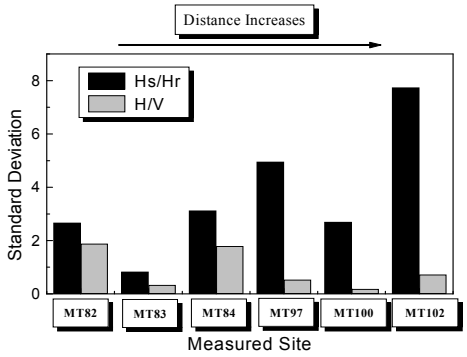


شکل ۶ : مقایسه مقادیر ضریب تقویت بدست آمده از دو روش Hs/Hr و H/V برای حالت دور از نقطه مرجع.

۴- شکل (۶) مقادیر ضریب تقویت بدست آمده را به ازای دو روش نشان می‌دهد. در تمامی نقاط بجز نقطهٔ MT84 که دو روش نتایج مشابهی را نتیجه می دهند، روش نقطه مرجع اعداد بزرگتری را می‌دهد.

۵- شکل (۷) مقادیر انحراف معیار را در نقطهٔ فرکانس غالب نمایش می‌دهد. همانگونه که مشخص است بدون استثنا در تمامی نقاط روش نقطه مرجع اعداد بزرگتری را نتیجه می‌دهد.

۶- لازم به ذکر است که تمامی اعداد قرائت شده در روش نقطه مرجع به کمک منحنی روش H/V قرائت شده اند و اگر چنین منحنی وجود نداشت تقریباً تشخیص پیک در منحنی Hs/Hr به آسانی میسر نمی بود.



شکل ۷ : مقایسه مقادیر انحراف معیار بدست آمده از دو روش Hs/Hr و H/V برای حالت دور از نقطه مرجع.

۷- آنچه مسلم است با زیاد شدن فاصله نقطهٔ روی رسوب از نقطهٔ مرجع، روش نقطهٔ مرجع نتایج مناسبی را نمی‌دهد. در این موارد بکارگیری روش H/V الزامی است.

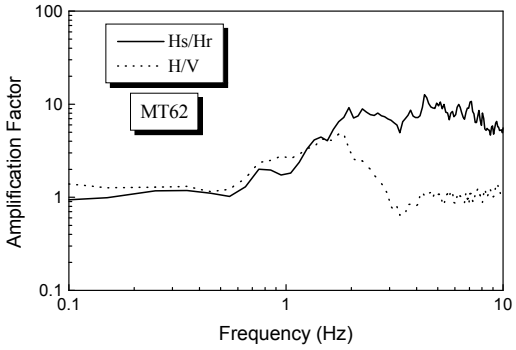
فاصله نزدیک به نقطه مرجع

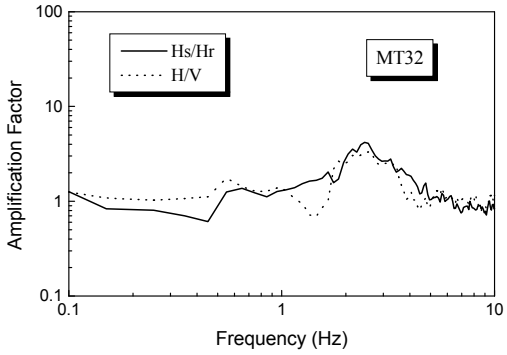
در این بخش نقاطی مورد بررسی قرار گرفته اند که فاصله شان تا نقطه مرجع کمتر از ۲۵۰۰ متر بوده است. در شکل (۸) و (۹) منحنی های نسبت طیفی و انحراف معیار دو نقطه MT62 و MT32 به عنوان مثال آورده شده است. بررسی نتایج حاصله از ۶ نقطه آنالیز شده موارد زیر را بیان می کند:

۱- بررسی نقاط فوق نشان می‌دهد که بجز در یک مورد، روش H/V باز هم پیک منحنی انتقالی را مناسب‌تر نشان می‌دهد و قرائت فرکانس غالب از آن آسان‌تر صورت می‌گیرد.

۲- با بررسی منحنی‌های انحراف معیار در محدودهٔ فرکانس های ۰,۱ الی ۱۰ هرتز مشخص می‌شود که روش H/V در غالب پهنای این محدوده مقادیر کوچکتری را دارا می‌باشد. این موضوع در محدودهٔ فرکانس های بزرگتر از فرکانس غالب مشهودتر می‌شود.

۳- با تمرکز بر روی مقادیر فرکانس غالب و ضریب تقویت محاسبه شده با دو روش مورد بحث بهتر



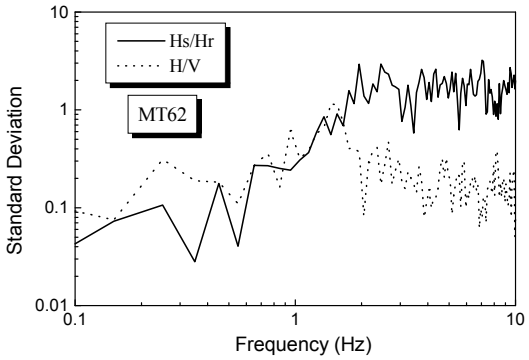


شکل ۸ : منحنی های نسبت طیفی برای حالت نزدیک به نقطه مرجع.

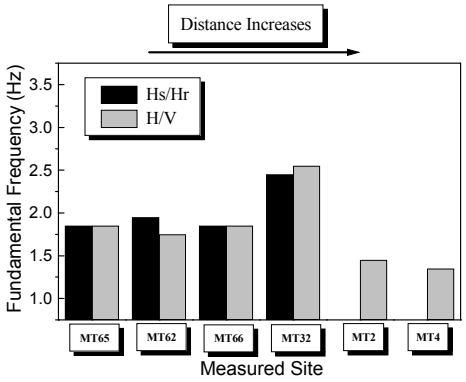
می‌توان اظهار نظر کرد. در کلیه نقاط بجز دو نقطه MT4 و MT2 همخوانی در نتایج حاصله مشاهده می گردد. در شکل (۱۰) مقادیر فرکانس غالب در نقاط مختلف را به ازای دو روش مورد بحث نشان می‌دهد. مقایسه اینها نشان می‌دهد که هر دو روش مقادیر فرکانس غالب نزدیک بهم را نتیجه می‌دهد.

۴- شکل (۱۱) مقادیر ضریب تقویت را نشان می‌دهد. هر دو روش اعدادشان تقریباً نزدیک بهم می‌باشد و روش H/V اعداد کوچکتری را می‌دهد.

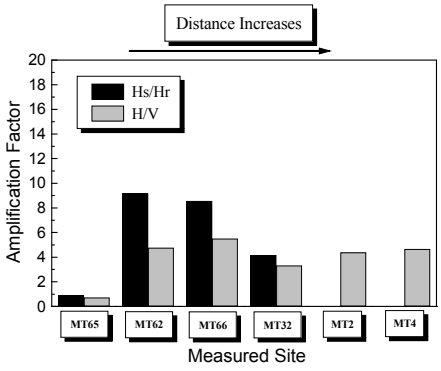
۵- مقایسه مقادیر انحراف معیار در شکل (۱۲) نیز نشان می‌دهد که روش H/V اعداد کوچکتری را بدست می‌دهد. نکته جالب آنست که مقادیر انحراف معیار تقریبا نصف مقادیر حالت دور (شکل ۶) می باشد.



شکل ۹ : منحنی انحراف معیار برای حالت نزدیک به نقطه مرجع.

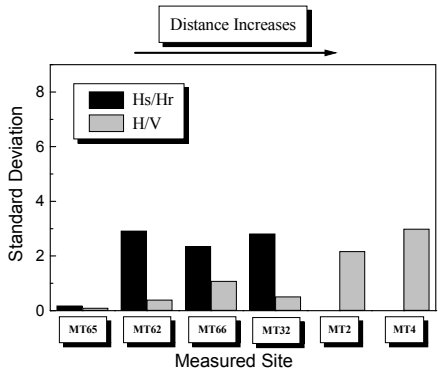


شکل ۱۰ : مقایسه مقادیر فرکانس غالب بدست آمده از دو روش Hs/Hr و H/V برای حالت نزدیک به نقطه مرجع.



شکل ۱۱ : مقایسه مقادیر ضریب بزرگنمایی بدست آمده از دو روش Hs/Hr و H/V برای حالت نزدیک به نقطه مرجع.

بررسی و دقت بر روی نتایج حاصله نشان می‌دهد در مواردی هم که فاصله نقطهٔ مورد نظر تا نقطهٔ مرجع کم باشد (کمتر از ۲۵۰۰ متر)، بجز در دو نقطه MT4 و MT2 در بقیه نقاط نتایج حاصله از دو روش مشابهت زیادی با یکدیگر دارند. دلیل عدم همخوانی نتایج در این دو نقطه در بخش اثر توپوگرافی به طور کامل توضیح داده شده است. به طور کلی روش H/V پیک فرکانس غالب ساختگاه را در منحنی تابع انتقال بهتر و واضح‌تر نشان می‌دهد. بعبارت دیگر می‌توان اینگونه بیان کرد که در آنالیز داده‌های میکروترمور روش H/V روش مناسب و با دقت بیشتری می‌باشد. بکار بردن این روش سبب کاهش عدم قطعیت‌های موجود در داده‌های میکروترمور می‌گردد. بعلاوه استفاده از این روش دیگر مشکلات مربوط به پیدا کردن یک نقطهٔ مرجع مناسب را نیز بهمراه ندارد.



شکل ۱۲ : مقایسه مقادیر انحراف معیار بدست آمده از دو روش Hs/Hr و H/V برای حالت نزدیک به نقطه مرجع.

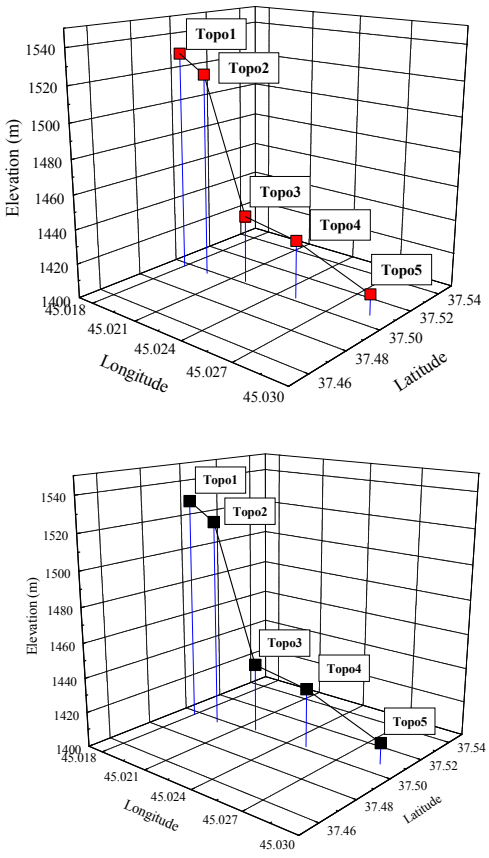
بررسی اثر توپوگرافی بر پاسخ ساختگاه با استفاده از اندازه گیری میکروترمورها

در این بخش به بررسی اثر توپوگرافی بر پاسخ ساختگاه در دو بخش پرداخته می شود. ابتداً قابلیت و کارایی اندازه گیری های میکروترمور در شناسایی و تخمین اثر توپوگرافی بر پاسخ ساختگاه بررسی می گردد. در بخش بعدی نقاط مرجع واقع بر بیرون زدگی سنگی مورد تحقیق قرار گرفته و میزان تاثیر توپوگرافی سطحی زمین بر آنها به بحث گذاشته می شود تا بدینوسیله کارایی آنها در روش Hs/Hr مشخص گردد.

بررسی قابلیت داده های میکروترمور در تخمین اثر توپوگرافی

برای بررسی بیشتر کاربرد و پتانسیل اندازه‌گیریهای میکروترمور در تعیین اثر توپوگرافی سطحی زمین بر پاسخ زمین، تعداد پنج نقطه اندازه‌گیری میکروترمور در تپه شهرک الکترونیک ارومیه انجام گردید.

مقطعی از تپه مورد نظر در شکل (۱۳) به همراه نقاطی که در آنها اندازه‌گیری میکروترمور انجام شده نشان داده شده است. در جدول (۲) نیز مختصات این نقاط که با استفاده از دستگاه GPS اندازه‌گیری شده اند، آورده شده است.



شکل ۱۳ : نمای سه بعدی تپه شهرک الکترونیک ارومیه به همراه موقعیت نقاط برداشت شده.

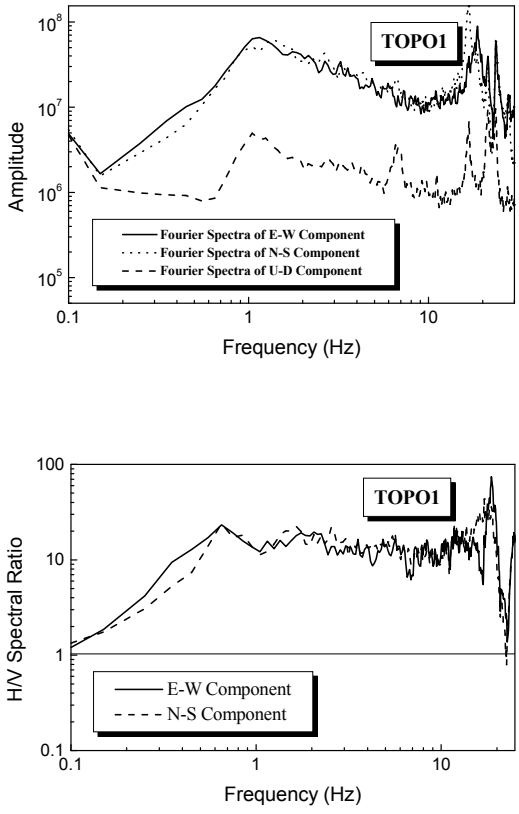
متأسفانه دستگاه در نقاط Topo2 و Topo3 داده ثبت نکرده و داده‌های موجود فقط متعلق به نقاط Topo1 ، Topo4 و Topo5 است. در اشکال (۱۴) الی (۱۶) منحنی‌های مربوط به طیف فوریه سه مؤلفه NS ، EW ، UD و همچنین نسبت طیفی H/V دو مؤلفه افقی این نقاط نشان داده شده است.

همانگونه که ملاحظه می‌گردد در نقطهٔ Topo1 که در بالای نوک تپه قرار داشته تفاوت میان طیف مولفه‌های افقی با قائم بیشترین بوده و منحنی نسبت طیفی H/V مقادیر بزرگ بالای ده را نشان می‌دهد.

جدول ۲ : مشخصات نقاط برداشتی جهت بررسی اثر توپوگرافی.

نقطه	عرض جغرافیایی	طول جغرافیایی	ارتفاع
Top 01	37.49733	45.0180	1530
Top 02	37.49766	45.0181	1520
Top 03	37.5015	45.0218	1440
Top 04	37.5020	45.0250	1434
Top 05	37.5076	45.0288	1412
MT105	37.56331	45.106868	1347

این نتایج همگی دال بر متأثر شدن این نقاط از توپوگرافی سطحی زمین بوده و اثر توپوگرافی در این نقطه مشهود و واضح است. گرچه این نقطه دقیقاً بر روی رخنمون سنگی قرار داشت ولی مقادیر بزرگ ضریب بزرگنمایی محاسبه شده در این نقطه می تواند بدلیل اثر توپوگرافی می‌باشد.

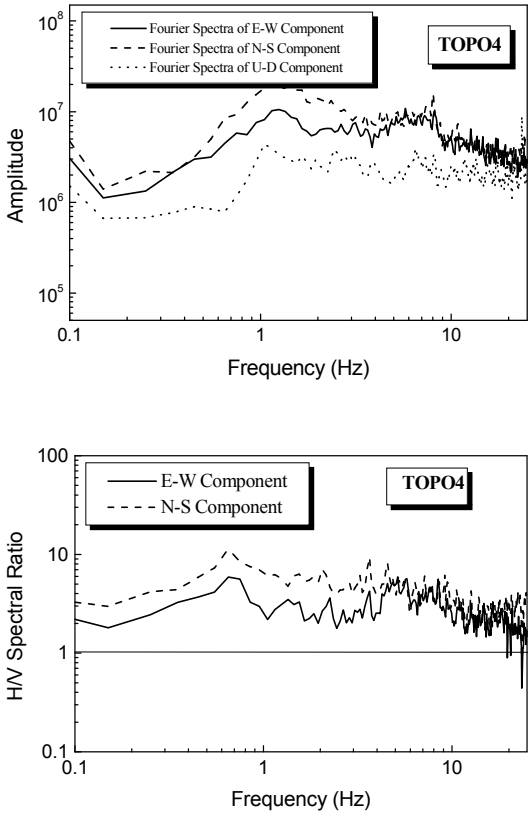


شکل ۱۴ : منحنی های مربوط به نقطه Topo1.

نقطهٔ Topo4 همانگونه که در شکل (۱۳) نشان داده شده است در محل هموارتری در پای تپه نسبت به Topo1 قرار دارد. در شکل (۱۵) منحنی های مربوط به این نقطه آورده شده است. منحنی‌های طیف فوریه سه مولفه، گرچه باز هم با هم اختلاف دارند ولی این تفاوتها در مقایسه با

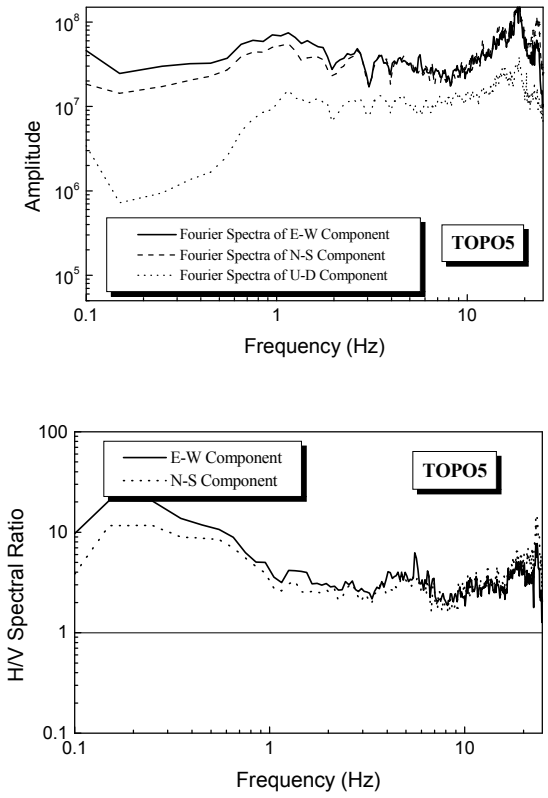
Topo1 کوچکتر می‌باشد. همچنین منحنی نسبت طیفی H/V دو مؤلفه افقی نیز مقادیری در حدود ۳ دارند که نشان می‌دهد ضریب تقویت در این نقطه در مقایسه با نوک تپه کوچکتر است. اما همچنان اختلاف میان نسبت طیفی H/V دو مولفه افقی پابرجاست. موارد فوق بیانگر آنست که نقطهٔ Topo4 نیز تحت تأثیر توپوگرافی سطحی زمین بوده ولی این تأثیر در مقایسه با Topo1 کمتر می‌باشد.

در شکل (۱۶) نیز منحنی های مربوط به نقطه Topo5 نشان داده شده است. این نقطه گرچه در دامنه تپه قرار داشت ولی پس از آن شیب دامنه تندتر می‌گشت. بررسی سه منحنی طیف فوریه و مشاهده اختلاف میان طیف مؤلفه‌های افقی و قایم بیانگر این مسئله می‌باشد که اثر توپوگرافی در این نقطه در مقایسه با Topo4 بزرگتر و در مقایسه با نقطهٔ Topo1 کوچکتر می‌باشد.

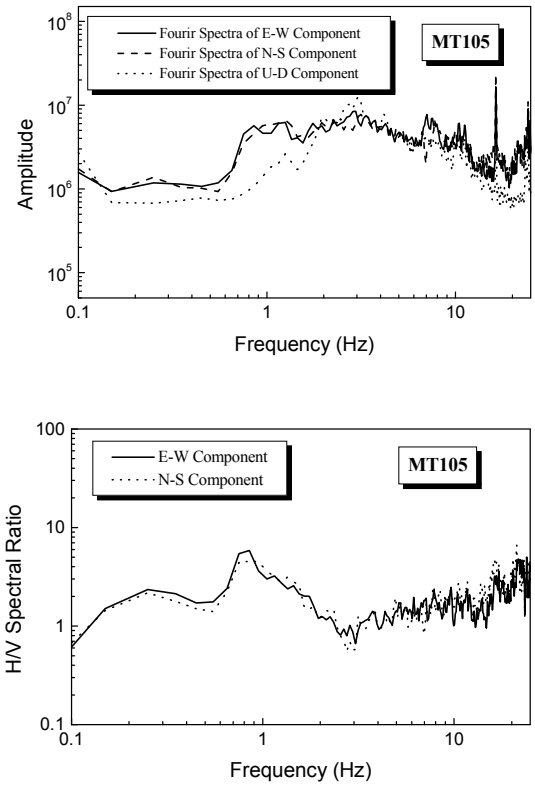


شکل ۱۵ : منحنی های مربوط به نقطه Topo4.

در ادامه جهت مقایسه، محاسبات فوق برای نقطهٔ MT105 که بر روی رسوب هموار و در داخل شهر قرار داشت، تکرار گشت. این نقطه در محدوده شرقی شهر قرار داشته و موقعیت زمین شناسی آن به گونه ای می باشد که ضخامت رسوب در این نقطه زیاد بوده (بیش از ۳۰ متر و از جنس رسوبات دریاچه ای) و توپوگرافی سنگ بستر نیز هموار حدس زده می شود. همانگونه که در شکل (۱۷) نشان داده شده سه منحنی طیف فوریه مولفه‌های افقی و قایم مشابه یکدیگر بوده و در اکثر محدودهٔ فرکانس بر هم منطبق می‌باشند همچنین در منحنی نسبت طیفی H/V مؤلفه‌های افقی نیز کاملاً مشابه همدیگر و پیک نمودار را هر دو به یکسانی نمایش می‌دهند.



شکل ۱۶ : منحنی های مربوط به نقطه Topo5.



شکل ۱۷ : منحنی های مربوط به نقطه MT105.

از مطالب عنوان شده در این بخش می توان اینگونه نتیجه گرفت که از اندازه گیری های میکروترمور میتوان جهت بررسی اثر توپوگرافی استفاده کرد. کارایی اینگونه داده ها در تعیین اثر توپوگرافی سطحی زمین بر پاسخ ساختگاه در این بخش نشان داده شد. استفاده مفیدی که می توان از این توانایی میکروترمورها کرد آنست که در تعیین ایستگاه مرجع برای یک شبکه شتابنگاری می توان آنها را به کار گرفت. با این روش مناسب بودن محل مورد نظر، که بایستی عاری از اثر توپوگرافی باشد، مورد ارزیابی قرار می گیرد.

بررسی تاثیر توپوگرافی بر نقاط مرجع

با توجه به نتایج حاصله در قسمت قبلی، در این بخش تأثیر توپوگرافی بر دادههای میکروترمور اندازهگیری شده در نقاط مرجع بررسی میگردد. همانگونه که بیان گردید نقاط مرجع معمولاً بر روی رخنمونهای سنگی انتخاب میگردند. در روش تعیین مشخصات ساختگاه با استفاده از نقطهٔ مرجع فرض بر اینست که این نقطهٔ عاری از هر گونه اثر ساختگاه بوده و میتوان آنرا بعنوان حرکت ورودی به لایه خاک در نظر گرفت و آنگاه نسبت طیفی حرکت روی رسوب به حرکت نقطهٔ مرجع بیانگر اثر ساختگاه میباشد. یافتن یک نقطهٔ مرجع مناسب کاری بس دشوار است. در بعضی مناطق که بر روی دشتهای پهن واقع گردیدهاند یافتن یک نقطهٔ بیرونزدگی سنگ بستر نزدیک و مناسب کاری دشوار میباشد. بنا بر نتایج بدست آمده از بخش قبلی نقطهٔ مرجع باید در فاصله کمتر از ۲۵۰۰ متری نقطهٔ روی رسوب باشد که میخواهیم اثر ساختگاه را در آن بررسی کنیم. زیرا فرض بر اینست که اثر مسیر و منبع موج برای نقاط نزدیک بهم یکسان میباشند.

شهر ارومیه خوشبختانه به لحاظ موقعیت زمینشناسی به گونهای میباشد که دشت رسوبی که شهر بر روی آن بنا شده دور تا دور توسط کوه و تپه های کوتاهی محصور شده است که براحتی رخنمون سنگی کف را می توان در آنها مشاهده کرد. بهنگام نصب ایستگاههای مرجع تمامی تلاش بر این بوده است که حتماً بر روی یک رخنمون سنگی قرار گیرد تا اثر ساختگاه به حداقل برسد. گرچه هوازدگی سنگ رخنمون خود یک مسئله غیرقابل اجتناب میباشد. تنها موضوع مهمی که میتواند این نقاط را تحت تأثیر قرار دهد تأثیر توپوگرافی میباشد که در ادامه بررسی میگردد. تأثیر توپوگرافی ممکن است به حدی باشد که در عمل استفاده از یک نقطهٔ مرجع در روش Hs/Hr اشتباهات زیادی را در محاسبات وارد گرداند.

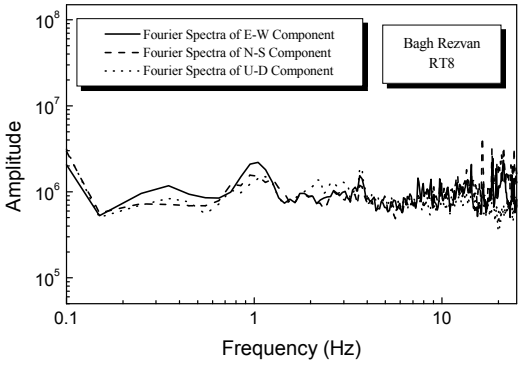
در مجموع برداشت های داده میکروترمور، سه محل با توجه به فاصله به تناوب برای سنگ مرجع مورد استفاده قرار گرفتند. این سه محل عبارتند از: ۱- ایستگاه شیخ‌تپه ۲- ایستگاه بند ۳- ایستگاه باغ رضوان. در شکل (۱) موقعیت این نقاط در سطح شهر ارومیه نشان داده شده است. این سه ایستگاه بر روی تپه قرار داشته که فرض میشود میتوان آنها را رخنمون سنگی در نظر گرفت.

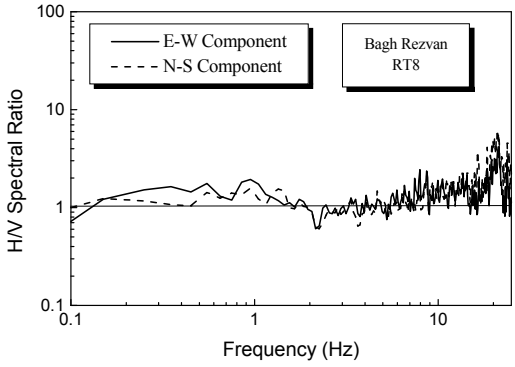
در جدول (۳) تعداد دفعاتی که هر ایستگاه مورد استفاده قرار گرفته، نشان داده شده است. هر RT بیانگر برداشت در یک مرحله میباشد. برای آنالیز دادههای فوق از تمامی دادههای مناسب موجود استفاده و سپس میانگینگیری شده است. برای بررسی اثر توپوگرافی در ۳ نقطه مرجع که در ۱۳ شب به طور متوالی مورد استفاده قرار گرفتهاند محاسبات به شرح زیر انجام گرفته است.

برای هر نقطه منحنی‌های طیف فوریه سه مؤلفه EW، NS و UD و بعلاوه منحنی‌های H/V به ازای دو مؤلفه افقی EW و NS محاسبه گردیده که در اشکال (۱۸) الی (۲۰) نمونه هایی از آنها نشان داده شده است. بررسی نتایج نشان می‌دهد که:

۱- در ایستگاه باغ رضوان طیف فوریه سه مولفه رکورد شده انطباق خوبی با یکدیگر دارند. همچنین پیکی در منحنی‌های H/V دیده نمی‌شود و منحنی‌ها بسیار شبیه به یکدیگر بوده و در حول و حوش یک قرار دارند. همچنین تفاوت میان نسبت طیفی دو مؤلفه افقی EW و NS ناچیز می‌باشد. این نتایج بیانگر آنست که ایستگاه مرجع باغ رضوان نقطه‌ای مناسب بوده و اثر توپوگرافی بر پاسخ ساختگاه در آن نقطه چندان تأثیرگذار نمی‌باشد.

۲- در ایستگاه بند داده‌های برداشت شده مناسب بوده و طیف سه مؤلفه (NS, EW, UD) آن تقریباً بر هم قرار دارند همچنین منحنی نسبت طیفی دو مولفه افقی تقریبا منطبق بر یکدیگر و در حول و حوش عدد واحد یک می باشد. در نتیجه ایستگاه مرجع بند نیز عاری از اثر توپوگرافی می باشد.





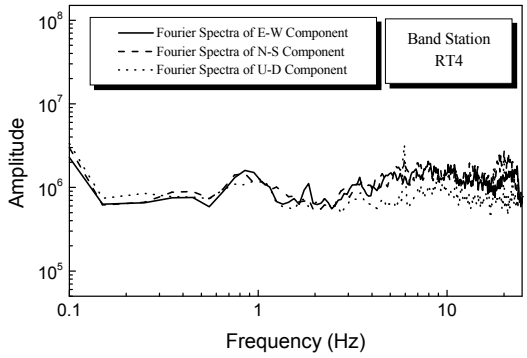
شکل ۱۸ : نمونه ای از نتایج حاصله در ایستگاه مرجع باغ رضوان.

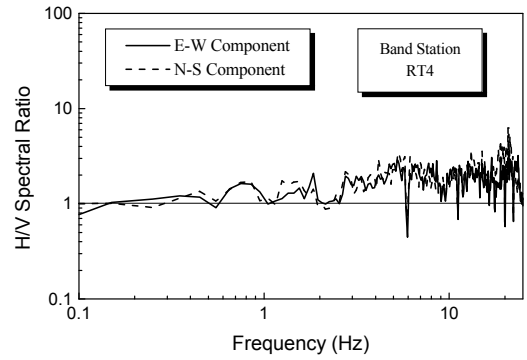
جدول ۳ : نقاط مرجع و تعداد دفعات مورد استفاده هر ایستگاه.

ایستگاه مرجع	تعداد دفعات مورد استفاده بعنوان مرجع سنگی
شیخ تپه	RT1 , RT2 , RT3 , RT6 , RT12
بند	RT4 , RT5
باغ رضوان	RT7 , RT8 , RT9 , RT10 , RT11, RT13

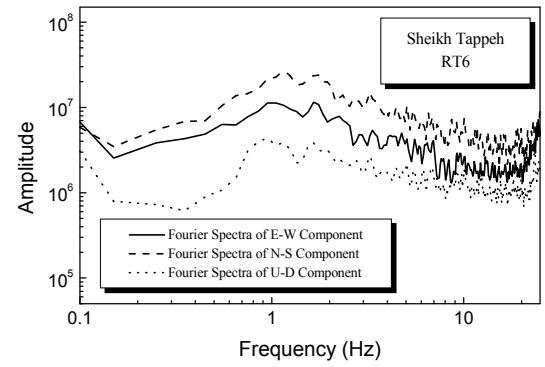
۳- اما در ایستگاه شیخ تپه تفاوت زیاد میان طیف مؤلفه‌های افقی با مؤلفه قائم مؤید این مطلب می باشد که در این نقطه اثر توپوگرافی مؤثر و چشمگیر می‌باشد. این تفاوت میان منحنی های نسبت طیفی دو مولفه افقی نیز قابل مشاهده و چشمگیر می باشد.

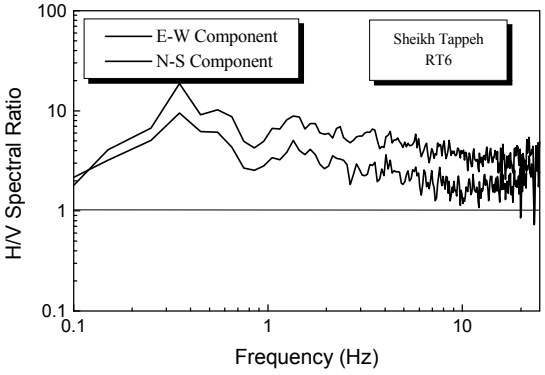
۴- با توجه به متاثر بودن ایستگاه شیخ تپه از اثر توپوگرافی و اینکه دو نقطه MT4 و MT2 بر روی منطقه شیخ تپه قرار دارند (از لحاظ زمین شناسی ضخامت رسوب ناچیز و توپوگرافی به صورت تپه ماهور می باشد)، دلیل عدم نتیجه گیری با استفاده از روش Hs/Hr در بخش قبل واضح می گردد. در واقع هر سه نقطه متاثر از اثر توپوگرافی می باشند.





شکل ۱۹ : نمونه ای از نتایج حاصله در ایستگاه مرجع بند.





شکل ۲۰ : نمونه ای از نتایج حاصله در ایستگاه مرجع شیخ تپه.

در نهایت آنچه می توان از این بخش نتیجه گرفت آنست که اندازه گیری های میکروترمور می توانند به عنوان ابزاری مناسب جهت بررسی اثر توپوگرافی بر پاسخ ساختگاه بکار گرفته شوند و پتانسیل آنها در این مطالعه به اثبات رسیده است. در این راستا نقاط مرجع در سطح شهر ارومیه مورد بررسی قرار گرفته و نشان داده شده است که دو ایستگاه باغ رضوان و بند عاری از اثر توپوگرافی بوده ولی در ایستگاه شیخ تپه این اثر مشهود و ملموس می باشد. پس در آنالیز نقاطی بر روی رسوب که نقطه مرجعشان ایستگاه شیخ تپه می باشد نباید از روش نقطه مرجع (Hs/Hr) استفاده کرد. همچنین برای آنالیز نقاطی که بر روی تپه در سطح شهر قرار دارند (مثلا در منطقه شیخ تپه) استفاده از روش H/V علی رغم فاصله کم تا نقطه مرجع الزامی است.

نتیجه گیری

بر اساس مطالعه صورت گرفته در این تحقیق اینگونه می توان بیان کرد که با مقایسه روشهای مختلف آنالیز میکروترمورها برای دو حالت فاصله نزدیک و دور نسبت به نقطه مرجع نشان داده شده است که روش ناکامورا (H/V) روشی مناسب و کارآمد بوده و با استفاده از آن مشخصات ساختگاه را بهتر می توان شناخت. برای این منظور فاصله ۲۵۰۰ متری نیز بعنوان حد فاصل دو حالت معرفی گردید. نشان داده شد که در هر دو حالت روش H/V روش مناسب تری بوده و جوابهای بدست آمده قابلیت اطمینان بیشتری دارند. برای آنالیز نقاطی که بر روی عارضه توپوگرافی در سطح شهر قرار دارند، استفاده از روش H/V علی رغم فاصله کم تا نقطه مرجع الزامی است. همچنین در بخش بعدی نشان داده شد که اندازه گیری میکروترمورها می تواند در تخمین اثر توپوگرافی سطحی زمین بر پاسخ ساختگاه بکار گرفته شوند. این امر با مطالعه موردی یک تپه در نزدیکی شهر ارومیه اثبات گردید و سپس با استفاده از نتایج بدست آمده نقاط مرجع مورد استفاده از حیث میزان متاثر شدن از اثر توپوگرافی بررسی گردیدند. نشان داده شده که بجز دو ایستگاه باغ رضوان و بند، ایستگاه شیخ تپه متاثر از اثر توپوگرافی بوده و در آنالیز نقاطی که نقطه مرجعشان این ایستگاه می باشد بکار بردن روش H/V الزامی است.

تشکر و سپاسگزاری

در این مطالعه از داده های میکروترمور اندازه گیری شده طی پروژه ریز پهنه بندی لرزه شهر ارومیه استفاده شده است که نویسندگان مراتب تشکر خود را از کارفرمایان محترم سازمان مدیریت و برنامه ریزی و سازمان مسکن و شهرسازی استان آذربایجان غربی اعلام می دارند. همچنین از آقای مهندس احمد سدیدخوی و موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران نیز به ترتیب جهت همکاری در اندازه گیری داده ها و در اختیار گذاشتن دستگاهها قدردانی می گردد. از آقای مهندس سلیمانی نیز جهت راهنمایی در برنامه نویسی کامپیوتر تشکر می گردد.

مراجع

1 - Borcherdt, R. D. (1970). “Effects of local geology on ground motion near San Francisco Bay.” *Bulletin of seismological society of America*, Vol. 81, PP. 2234-2253.

2 - Kagami, H., Okada, S., shiono, K., Oner, M., Dravinski, M. and Mal, A. k. (1986). “Observation of 1 to 5 second microtremors and their application to earthquake engineering. Part III. A two-dimensional study of site effects in S. Fernando valley.” *Bulletin of seismological society of America*, Vol. 76, PP. 1801-1812.

3 - Nogoshi, M. and Igarashi, T. (1970). “On the propagation characteristics of microtremors.” *J. Seism. Soc. Japan*, Vol. 23, PP. 264-280, (in Japanese with English abstract).

4 - Nakamura, Y. (1989). “A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface.” QR of RTRI 30, No. 1, PP. 25-33.

5 - Ohmachi, T., Konno, K., Endoh, T. and Toshinawa, T. (1994). “Refinement and application of an estimation procedure for site natural periods using microtremor.” *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, 489, I-27, PP. 251-261, (in Japanese with English abstract).

6 - Field, E. H. and Jacob, K. H. (1993). “The theoretical response of sedimentary layers to ambient seismic noise.” *Geophysical Research Letters*, Vol. 20-24, PP. 2925-2928.

7 - Konno, K. and Ohmachi, T. (1995). “A smoothing function suitable for estimation of amplification factor of the surface ground from microtremor and its application.” *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, 525, I-33, PP. 247-259, (in Japanese with English abstract).

8 - Lermo, J. and Chavez-Garcia, F. J. (1994). “Are microtremos useful in site response evaluation?” *Bulletin of seismological society of America*, Vol. 84, PP. 1350-1364.

9 - Levret, A., Loup, C. and Goula, X. (1986). “The provence earthquake of June 11th, 1909 (France): New assessment of near-field effect.” *Proceeding of the 8th European Conference of Earthquake Engineering*, Lisbon, September, Vol. 2, PP. 42-79.

10 - Brambati, A., Faccioli, E., Carulli, E. B., Culchi, F., Onofri, R., Stefanini, S. and Ulcigrai, F. (1980). “Studio de microzonizzazione sismica dellarea di Tarcento (Friuli).” Edito da Regiona Autonoma Friuli-Venezia-Giulia (in Italian).

11 - Siro, L. (1982). “Southern Italy November 23, 1980 earthquake.” *Proceedings of the 7th European Conference on Earthquake Engineering*, Athens, Greece, September 20-25.

12 - Celebi, M. (1987). “Topographical and geological amplifications determined from strong-motion and aftershock records of the 3 March 1985 Chile earthquake.” *Bulletin of seismological society of America*, Vol. 77, PP. 1147-1157.

13 - Geli, L., Bard, P. Y. and Jullien, B. (1988). “The effect of topography on earthquake ground motion: a review and new results.” *Bulletin of seismological society of America*, Vol. 78, PP. 42-63.

14 - Faccioli, E. (1991). “Seismic amplification in the presence of geological and topographic irregularities.” *Proceeding of the Second International conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics*, March 11-15, St. Louis, Missouri, Vol. 2, PP. 1779-1797.

15 - Finn, W. D. L. (1991). “Geotechnical Engineering aspects of mirozonation.” *Proc. Ath Int. Conf. On Seismic Zonation*, Stanford, California, Vol. I, PP. 199-259.

16 - Bard, P. Y. and Meneroud, J. P. (1987). “Modification du signal sismique par la topographie. Cas de la vallee de la Roya (Alpes-Maritimes).” *Bull. Liaison Laboratoires des ponts-et-chaussees*, Numero Special “Risques Naturels” PP.. 140-151, (in French).

17 - Bard, P. Y. (1994). “Discussion session: lessons, issues, needs and prospects, special theme session on Turkey flat and Ashigara valley experiments.” *Tenth World Conference on Earthquake Engineering*, Madrid, July 10-14, post conference volume.

18 - JSCE Earthquakes Report (2001). “Recent damaging earthquakes around the world.” *Japan Society of Civil Engineers*, Japan.

19 - Chavez-Garcia, F. J., Sanchez, R. L. and Hatzfeld, D. (1996). “Topographic site effects and HVSR. A comparison between observation and theory.” *Bulletin of seismological society of America*, Vol. 86, No. 5, PP. 1559-1573.

20 - Sanchez-Sesma, F. J. and Campillo, M. (1991). “Diffraction of P, SV and Rayleigh waves by topographical features: a boundry integral formulation.” *Bulletin of seismological society of America*, Vol. 81, PP. 2234-2253.

۲۱- قلندرزاده، ع. "ریزپهنه بندی لرزه شهر ارومیه- فاز I." پروژه تحقیقاتی، سازمان مدیریت و برنامه ریزی استان آذربایجان غربی، (۱۳۸۰).

۲۲- قلندرزاده، ع. "ریزپهنه بندی لرزه شهر ارومیه- فاز II." پروژه تحقیقاتی، سازمان مسکن و شهرسازی استان آذربایجان غربی، (۱۳۸۱).

23 - Ghayamghamian, M. R. and Kawakami, H. (1997). “Segmental cross-spectrum in microtremor spectral ratio analysis” 7th International Conference on Structural Safety and Reliability, Kyoto, Japan, November 24-28, PP. 1487-1494.

واژه نامه انگلیسی به ترتیب استفاده در متن

1 - Spectral ratio of horizontal to vertical component of recorded microtremors on sediment
2 - Spectral ratio of horizontal component of recorded microtremors on sediment to rock outcropping
3 - Fundamental frequency
4 - Amplification factor
5 - Path effect
6 - Source effect
7 - Reference site
8 - Transfer function
9 - Strong ground motion
10 - Weak ground motion
11 - Microtremors
12 - Rock outcropping
13 - Segmental Cross Spectra