اولین کنفرانس ملی معماری و فضاهای شهری پایدار
مشهد مقدس، آذر ماه ۱۳۹۲
Architecture and Sustainable Urban Spaces Conference
Mashhad, Iran, December 2013

بررسی فرکانس غالب خاک در شهر خلیل آباد با استفاده از مایکروترمورها

ویدا طاهرپور خلیل آباد[1*]، ناصر حافظی مقدس[2]، غلامرضا لشکری پور[3]
۱- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد
۲- دانشیار گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد
۳- استاد گروه زمین شناسی دانشگاه فردوسی مشهد
vidataherpour@yahoo.com

چکیده
کشور ایران به سبب موقعیت زمین شناسی خاص خود، همواره با زمین لرزه به عنوان یک بلای طبیعی دست به گریبان بوده‌است، بنابراین انجام مطالعاتی جهت شناخت زمین لرزه‌ها و بیان راهکارهایی برای به حداقل رساندن اثرات سوء آنها از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می باشد. شهر خلیل‌آباد در استان خراسان رضوی که به عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب گردیده، در نزدیکی گسل فعال درونه قرار گرفته‌است، بنابراین به لحاظ لرزه زمین ساختی از پتانسیل لرزه‌ای بالایی برخوردار است. از سوی دیگر، مطالعات نشان داده‌اند که اثرات ساختگاهی می توانند نقش بسیار مهمی در میزان خسارات ناشی از زمین لرزه‌ها داشته باشند، بنابراین انجام مطالعاتی از این دست، می تواند گام مهمی در جهت کاهش عواقب زیانبار زمین لرزه در این منطقه باشد. امروزه استفاده از داده‌های حاصل از آزمون‌های ژئوتکنیکی، ژئوفیزیکی، زلزله‌ها و انفجارها جهت تعیین واکنش دینامیکی ساختگاه در محیط‌های شهری، دشوار و مستلزم صرف زمان وهزینه زیادی است، به همین دلیل استفاده از مایکروترمورها با توجه به سهولت روش کار، صرفه اقتصادی و غیر تخریبی بودن بسیار مورد استقبال قرار گرفته‌است. بدین منظور ، یکی از رایجترین و ساده ترین روش های مبتنی برمایکروترمورها یعنی روش نسبت طیفی افقی به عمودی موج لرزه ای موسوم به روش ناکامورا در ۳۰ نقطه در منطقه به کار گرفته شده است. پردازش داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم افزار GEOPSY صورت پذیرفته و سپس منحنی‌های نسبت طیفی آنها استخراج گردیده است. در نهایت مقادیر تقویت، فرکانس و پریود غالب جهت ارزیابی اثرات ساختگاه در منطقه برآورد شده است.

واژه‌های کلیدی: مایکروترمور، اثرات ساختگاهی، روش ناکامورا

۱-مقدمه

مساله تاثیر ساختگاه بر حرکات لرزه‌ای زمین از اوایل قرن بیستم مورد توجه محققین و دانشمندان قرار گرفته است. آنان با بررسی آثار ایجاد شده در اثر امواج زلزله در نقاط مختلف ساختگاه و همچنین شرایط لایه‌های آبرفتی محل، تاثیر ساختگاه را در تغییر خصوصیات مختلف امواج زلزله مورد ارزیابی قرار می دهند. این بررسی‌ها تا به امروز نیز ادامه داشته و پس از وقوع زلزله‌های جدید در نقاط مختلف دنیا، تحقیقات زیادی در ارتباط با چگونگی تاثیر ساختگاه بر شدت این زلزله‌ها صورت می گیرد. از دیدگاه مهندسی اهمیت زلزله‌ها به لحاظ تاثیراتی است که این زلزله‌ها در سازه‌ها ایجاد می نمایند که در اکثر

موارد این سازه‌ها نه در سطح توده‌های سنگی بلکه بر روی سطح زمین یعنی بر روی لایه‌های آبرفتی واقع بر سنگ بستر بنا می شوند (سقراط و همکاران، ۱۳۹۰).

در این میان، بررسی فرکانس غالب ارتعاش زمین از اهمیت ویژه‌ای برخوردار بوده و از جمله خصوصیات دینامیکی خاک به شمار می آید که تعیین آن نقش بسیار مهمی در طراحی سازه‌های ایمن در برابر زلزله دارد، چرا که در صورت یکسان بودن فرکانس طبیعی ارتعاش ساختمان با فرکانس غالب ساختگاه زیرین، سازه و معماری آن متحمل بیشترین خسارات خواهد شد.

اساسا سطح زمین همواره، حتی بدون وقوع زمین لرزه‌ها در محدوده فرکانس‌های لرزه‌ای در حال جنبش است. این ارتعاشات ثابت در سطح زمین مایکروترمور نامیده می شوند که ارتعاشاتی با دامنه کوتاه و پریود پایین هستند.

در چند دهه اخیر، وقوع زمین لرزه‌های مخرب در نواحی پر جمعیت نشان داده است که اثرات ساختگاهی می توانند نقش مهمی در میزان خسارات به بار آمده داشته باشند، به همین سبب ارزیابی اثرات ساختگاهی یکی ازمهمترین پارامترها در مطالعات ریز پهنه بندی می باشد (Panou et al., 2005, p.261).

در حال حاضر به خوبی مشخص شده است که خصوصیات محلی ساختگاه، می تواند سبب تقویت جنبش‌های زمین در زمان وقوع زمین لرزه شود (Desa warnana et al., 2011).

اساسا روش‌های مختلفی برای تخمین مشخصات ساختگاه به کار برده می شوند که در این میان، استفاده از اندازه گیری‌های مایکروترمور به سبب ارزان بودن، سهولت عملیات و سرعت مقبولیت فراوانی به خصوص در مناطقی با لرزه خیزی متوسط و پایین پیدا کرده است (قلندرزاده و معتمد، ۱۳۸۳).

مطالعات پیشگامانه ناکامورا در سال ۱۹۸۹ درخصوص آنالیز میکروترمور و معرفی تکنیکی که روش نسبت طیفی مولفه افقی به عمودی نامیده می شود، یکی از مهمترین تحولات در بررسی مایکروترمورها بوده است. از آن زمان تاکنون مطالعات زیادی در خصوص کاربرد مایکروترمورها در ارزیابی اثرات ساختگاهی انجام شده است که از آن جمله می توان به مطالعات لرمو و چاوز گارسیا(۱۹۹۴)، لچت و همکاران(۱۹۹۶)، دلگادو وهمکاران (۲۰۰۰)، بونفوی کلودت و همکاران(۲۰۰۸) و هاردستی و همکاران (۲۰۱۰) اشاره نمود.

دساوارنانا و همکاران (۲۰۱۱) با مطالعه بر روی کاربرد روش نسبت طیفی مولفه افقی به عمودی میکروترمور برای ارزیابی اثرات ساختگاهی در نزدیکی شهر باتو، ضمن تعیین مقادیر فرکانس غالب و فاکتور تقویت، شاخص آسیب پذیری در منطقه نیز معین نمودند که به واسطه آن، منطقه ضعیف در برابر جنبش‌های زمین لرزه در محدوده مورد نظر مشخص شده است.

هدف از این مطالعه، بررسی فرکانس غالب خاک در شهر خلیل آباد با استفاده از اندازه گیری‌های مایکروترمور می باشد. با توجه به نزدیکی این شهر به گسل فعال درونه و به تبع آن، پتانسیل لرزه‌خیزی بالا در منطقه و همچنین نیاز مبرم به ساخت ابنیه ایمن در این شهر، پژوهش پیش رو می تواند گام مهمی در جهت نیل به این مقصود باشد.

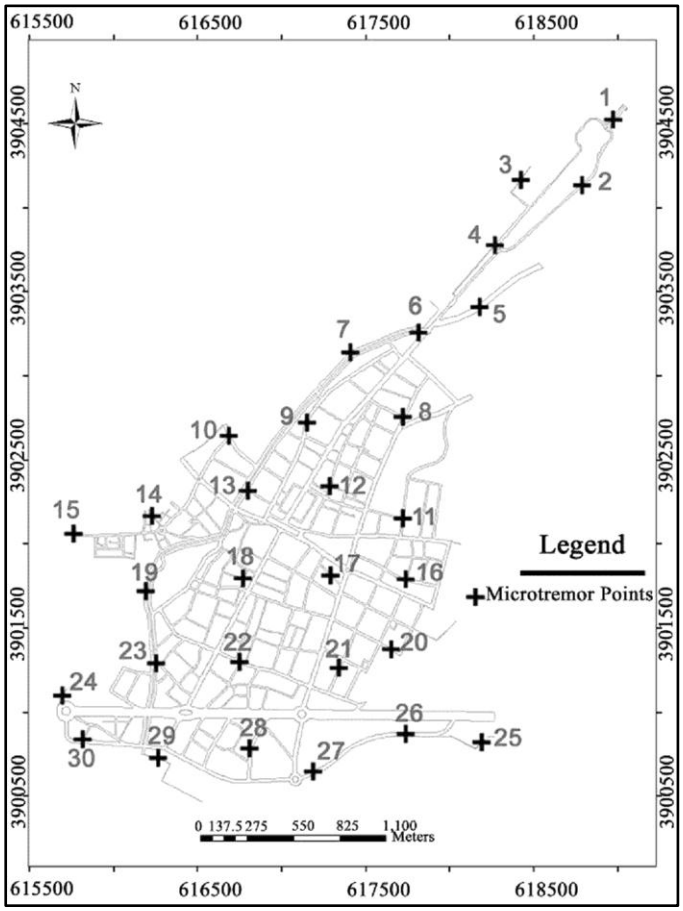
۲- موقعیت جغرافیایی، اقلیم و زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

شهر خلیل‌آباد در دشت کاشمر دراستان خراسان‌رضوی واقع شده‌است. این شهر در فاصله ۲۴۰ کیلومتری جنوب غربی مشهد قرار گرفته، ضمن آنکه از شمال به بخش کوهسرخ شهرستان کاشمر و از جنوب به بخش بجستان شهرستان گناباد و از شرق به شهرستان کاشمر و از غرب به شهرستان بردسکن محدود می شود.

منطقه مورد مطالعه به لحاظ موقعیت جغرافیایی در محدوده طول‌های جغرافیایی "۵۸°۱۲'۳۳.۶۸ و "۵۸°۲۱'۴۸.۶۹ شرقی و عرض‌های جغرافیایی "۳۵°۱۱'۳۲.۷۴ و "۳۵°۱۹'۶.۴۶ شمالی قرار گرفته است و ارتفاع آن از سطح دریای آزاد ۹۷۵ متر می باشد.

به طور کلی این منطقه از دیدگاه اقلیمی دارای آب و هوای خشک و سرد است و زمستان معتدل و تابستان گرم و خشک دارد. حداکثر درجه حرارت ۴۵ درجه و حداقل آن ۱۶- در ایستگاه هواشناسی کاشمر گزارش شده است. این اختلاف۶۱ درجه ای در میزان دما، نشان دهنده طبیعت غالب کویری منطقه خلیل آباد می باشد.

در خصوص زمین شناسی منطقه مورد نظر می توان چنین بیان داشت که این منطقه عمدتا شامل رسوبات آبرفتی بوده و تنها در بخش‌های شمالی آن، رخنمون های سنگی آذرین مشاهده می شوند. وجود گسل فعال درونه در فاصله ۱۰ کیلومتری منطقه مورد مطالعه نیز یکی از مهمترین و بارزترین ویژگی‌های زمین شناسی شهر خلیل آباد می باشد. شکل ۱ موقعیت منطقه مورد مطالعه و جانمایی ایستگاه‌های برداشت مایکروترمور را نشان می دهد.



شکل شماره (۱):موقعیت ایستگاه‌های برداشت مایکروترمور

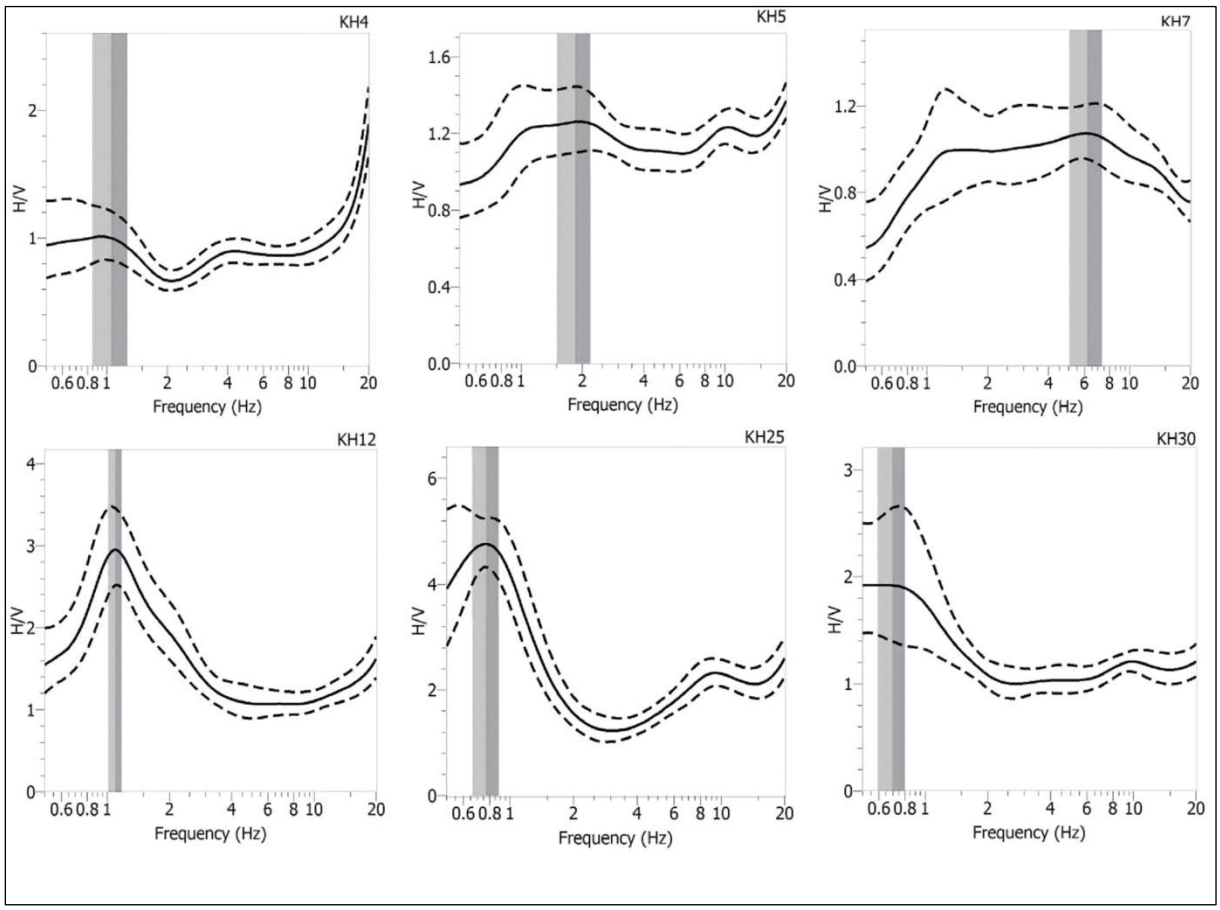
۳- مواد و روش‌ها

برداشت داده‌های مایکروترمور با استفاده از دستگاه لرزه سنج سه کاناله SL07 ساخت شرکت SARA ایتالیا انجام شد. فرکانس طبیعی این لرزه سنج ۲ هرتز و میرایی طبیعی آن ۰/۷می باشد. از دیگر مشخصات این دستگاه می توان به رقومی کننده سه کاناله ۲۴ بیتی، یک واحد پردازنده مرکزی با قابلیت ثبت رکوردها و گیرنده GPS می باشد.جهت انجام

برداشت‌های مایکروترمور، ابتدا منطقه مورد نظر به شبکه‌هایی با ابعاد ۵۰۰ متر در ۵۰۰ متر تقسیم بندی شد. ثبت مایکروترمورها در ۳۰ ایستگاه به مدت ۱۵ دقیقه از ساعت ۱۲ شب تا ۴ صبح صورت گرفت.

۴- پردازش داده‌های مایکروترمور

در این پژوهش جهت تجزیه و تحلیل داده های برداشت شده، روش نسبت طیفی مولفه افقی به عمودی (Nakamura Y.,1989) مورد استفاده قرار گرفته و بدین منظور از نرم افزار GEOPSY بهره گرفته شده است. درابتدا پنجره‌های زمانی ۲۰ ثانیه‌ای از داده‌ها انتخاب و نوفه‌های احتمالی حذف شدند. محاسبه طیف دامنه‌ها نیز به وسیله تبدیل سریع فوریه صورت پذیرفت، به گونه‌ای که در هموارسازی این طیف روش Konno & Ohmachi (1998) مورد استفاده قرار گرفت که در آن مقدار پهنای باند مورد نظر عدد ۱۰ در نظر گرفته شد. پس از محاسبه نسبت طیفی مولفه افقی به عمودی، مقادیر فرکانس غالب و دامنه بزرگنمایی تعیین شده و سپس مقدار پریود غالب در هر ایستگاه محاسبه شد. شکل۲، نمونه‌هایی از منحنی‌های نسبت طیفی به دست آمده برای چند ایستگاه را نشان می دهد که در آنها، محور افقی نشان دهنده فرکانس و محور عمودی نشانگر نسبت طیفی مولفه افقی به عمودی می باشد، همچنین منحنی توپر مربوط به میانگین نسبت طیفی مولفه افقی به عمودی بوده و منحنی‌هایی که با خط چین نشان داده شده اند مربوط به انحراف معیار نسبت طیفی مولفه افقی به عمودی می باشند.



۵- اهمیت تعیین فرکانس غالب ارتعاش ساختگاه

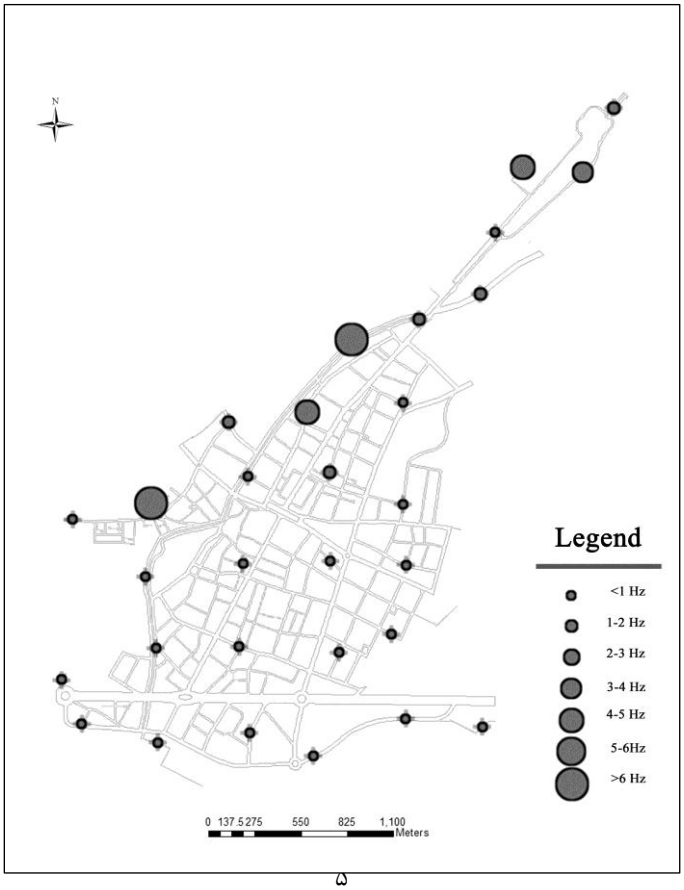
زمین لرزه‌ها می توانند سبب ایجاد خسارات مهمی در سازه های مهندسی همچون پل‌ها و ساختمان‌ها شوند که این مورد تاثیر بسیار چشمگیری بر اقتصاد کشورها خواهد داشت. این خسارات به ویژه زمانی شدیدتر خواهند بود که فرکانس غالب زمین لرزه با فرکانس تشدید سازه برابر باشد (Horta-Rangel et al., 2008).

امواج زلزله در هنگام انتشار از سنگ بستر به سطح زمین تحت اثر خصوصیات دینامیکی آبرفت در فرکانس‌های خاصی تقویت و یا تضعیف می شوند. در صورت برابری این فرکانس با فرکانس طبیعی سازه، پدیده تشدید به وقوع می پیوندد و سازه را تخریب می کند (بهادری و اسدزاده خوشه مهر، ۱۳۸۹).

تخریب سازه‌ها که به دنبال وقوع زمین لرزه سال ۱۳۶۹ در منجیل رخ داده است، یکی از مهمترین نمونه‌های پدیده تشدید در ایران به شمار می رود. در گزارش مربوط به این زمین لرزه که توسط موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله انتشار یافته است، اشاره شده است که طی این زمین لرزه دو شهر منجیل و رودبار تقریبا به طور کامل تخریب شده‌اند. در این دو شهر، خانه‌های یک طبقه که دارای پریود کوتاه و فرکانس بالایی بودند، خسارات زیادی را متحمل شده اند. این خانه‌ها یا بر روی سنگ و یا بر روی خاک عمقی که غالبا خاک بر جا مانده بوده و از مواد ریزدانه تشکیل یافته است بنا شده بودند. فرکانس حرکات زمین لرزه در مرکز زلزله بالا بوده و تخریب در سازه‌های با فرکانس بالا به سبب همسازی این سازه‌ها با فرکانس غالب امواج زمین لرزه بوده است (توکلی و همکاران، ۱۳۷۰).

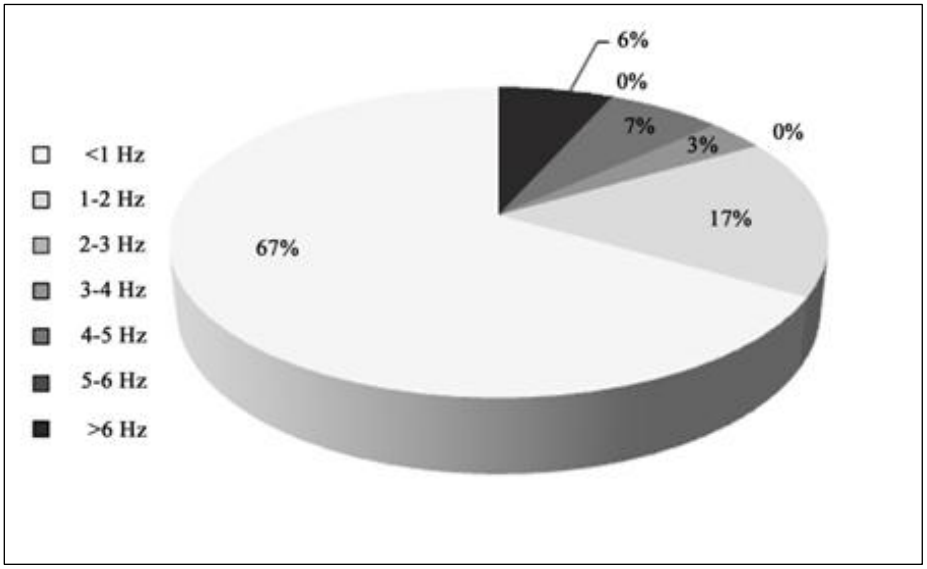
۶- تهیه نقشه هم فرکانس منطقه مورد مطالعه

در این مرحله بر اساس منحنی‌های نسبت طیفی به دست آمده، مقادیر فرکانس غالب در منطقه مورد مطالعه مشخص و به ۷ رده تقسیم شده‌اند. (شکل۳).



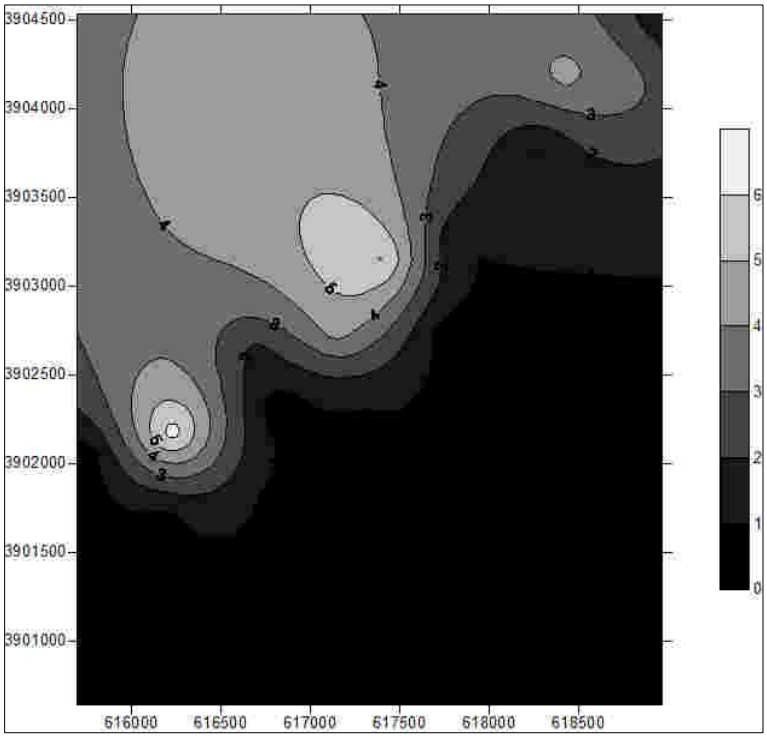
سپس، نمودار مربوط به درصد فراوانی هر یک از بازه‌های فرکانسی، نشان می دهد که بیشترین فراوانی در منطقه مربوط به بازه کمتر از ۱ هرتز و کمترین فراوانی مربوط به بازه ۴-۳ هرتز ثانیه می باشد، ضمن اینکه بازه‌های فرکانسی ۳-۲ هرتز و ۶-۵ هرتز در منطقه مورد مطالعه

شکل شماره(۳):موقعیت ایستگاه‌های برداشت شده به همراه مقادیر فرکانسی



شکل شماره (۴):نمودار درصد فراوانی بازه‌های فرکانسی در شهر خلیل آباد

نهایتا با استفاده از نرم افزار Surfer نقشه هم فرکانس منطقه مورد مطالعه ترسیم شد (شکل ۵).



شکل شماره (۵): نقشه نقاط هم فرکانس شهر خلیل آباد

۷- نتیجه‌گیری

در این مطالعه، چگونگی تغییرات فرکانس غالب ساختگاه با استفاده از مایکروترمورها و به کارگیری روش نسبت طیفی مولفه افقی به عمودی در شهر خلیل آباد بررسی شد. با توجه به نقشه نقاط هم فرکانس در منطقه، به نظر می رسد که روند تغییرات فرکانس غالب از سمت شمال منطقه مورد مطالعه به سمت جنوب، سیری نزولی دارد، بنابراین می توان گفت که ضخامت آبرفت به سمت جنوب منطقه رو به افزایش بوده، ضمن اینکه به لحاظ بافتی نیز خاک، ریزدانه تر می گردد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مراتب تشکر و قدردانی خود را از شرکت زمین فیزیک پویا و شهرداری محترم خلیل آباد که به ترتیب جهت در اختیار گذاشتن دستگاه اندازه گیری داده‌های مایکروترمور و نقشه جامع شهر خلیل آباد همکاری نموده اند، اعلام می دارند.

مراجع

۱. بهادری هادی، اسدزاده خوشه مهر قلی، (۱۳۸۹)، «بررسی پارامتریک تاثیر ساختگاه بر پاسخ زمین با استفاده از روش تحلیل معادل خطی»، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران
۲. توکلی، شهاب و همکاران (۱۳۷۰)؛ «گزارش تحلیلی زلزله منجیل رودبار ۳۱ خرداد ۱۳۶۹»، موسسه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (IIEES)، تهران، چاپ اول، شماره ۱-۹۱-۷۰
۳. سقراط، محمدرضا و همکاران (۱۳۹۰)؛ «بررسی اثرات ساختگاهی در شمال ایران با استفاده از روش تجربی H/V»، ششمین کنگره ملی مهندسی عمران
۴. قلندرزاده عباس، معتمد رامین، (۱۳۸۳)، «اندازه گیری‌های میکروترمور ابزاری مناسب در مطالعات پاسخ ساختگاه»، نشریه دانشکده فنی، شماره۶، صص ۷۹۰-۷۷۷

5. Bonnefoy-Claude, S., Leyton, F., Baize, S., Berge-Thierry, C., Bonilla, L.F., and Campos, J. (2008) ***Potentiality of microtremor to evaluate site effects at shallow depths in the deep basin of Santiago De Chile,*** The 14th World Conference on Earthquake Engineering, Beijing, October 12-17, 2008.
6. Delgado, J., Lopez-Casado, C., Estevez, A., Giner, J., Cuenca, A., and Molina, S. (2000). ***Mapping softt soils in the Segura river valley (SE Spain): a case study of microtremors as an exploration tool***, Journal of Applied Geophysics 45 .pp. 19-32.
7. Desa Warnana, D., Aryani Soemitro, R.A., and Utama,W. (2011*).* ***Application of microtremor HVSR method for assessing site effect in residual soil slope***, International Journal of Basic & Applied Sciences 11 .pp. 100-105.
8. Hardesty, K., Wolf, L.W., and Bodin, P. (2010) ***Noise to signal: A microtremor study at liquefaction sites in the new Madrid Seimic Zone***, Geophysics 75 .pp. 83-90
9. Horta-Rangel, J., Carmona, S., and M.Castano., V. (2008). ***Shift of natural frequencies in earthquake-damaged structures: an optimization approach***, Structural Survey 26 .pp. 400-410.
10. Konno, K., and Ohmachi., T. (1998). ***Ground motion characteristics estimated from spectral ratio between horizental and vertical components of microtremor***. Bulletin of the seismological society of America 88 .pp. 228-241.
11. Lachet, C., Hatzfeld, D., Bard, P., Theodulidis, N., Papaioannou, C., and Savvaidis, A. (1996). ***Site effects and microzonation in the city of Thessaloniki (Greece) comparison of diiferent approaches,*** Bulletin of the Seismological Society of America 86 .pp. 1692-1703.
12. Lermo, J., and Chavez-Garcia, F.J. (1994). ***Are microtremors useful in site response evaluation?***, Bulletin of the Seismological Society of America 84 .pp. 1350–1364.
13. Nakamura, Y. (1989). ***A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface***, Quaterly Report of Railway Technical Research Institute 30 .pp. 25-33.

14. Panou, A., Theodulidis, N., Hatzidimitriou, P., Stylianidis., K., and Papazachos, C.B. (2005). ***Ambient noise horizontal-to-vertical spectral ratio in site effects estimation and correlation with seismic damage distribution in urban environment: the case of the city of Thessaloniki (Northern Greece)***, Soil Dynamics and Earthquake Engineering 25 .pp. 261-274.