

بررسی اثر ساختگاه با استفاده از امواج سطحی (مطالعه‌ی موردی شهر زنجان)

مینا محمدی^۱، صادق کریم‌پولی^۲، زهره معصومی^۳، عبدالرضا قدس^۴

^۱دانش‌آموخته‌ی کارشناسی ارشد ژئوفیزیک، دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه‌ی زنجان، mi.mohammadi@iasbs.ac.ir

^۲استادیار دانشکده‌ی فنی، دانشگاه زنجان، s.karimpouli@znu.ac.ir

^۳استادیار دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه‌ی زنجان، z.masoumi@iasbs.ac.ir

^۴دانشیار دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه‌ی زنجان، aghods@iasbs.ac.ir

چکیده

خاصیت الاستیک مواد نزدیک سطح زمین، به خصوص ضریب مقاومت برشی و تأثیر آن بر انتشار امواج لرزه‌ای در مطالعه‌ی ژئوتکنیک ساختگاه‌ها اهمیت خاصی دارد. برای تعیین درجه‌ی سختی خاک‌ها سرعت امواج برشی استفاده می‌شود. در این مطالعه از روش تحلیل چندکاناله امواج سطحی (MASW: Multi-channel Analysis of Surface Wave) که روشی غیرمخرب، سریع و کم‌هزینه می‌باشد، برای بررسی اثر ساختگاه استفاده شده است. در این روش واز و ارون منحنی پاشش‌امواج ریلی حاصل از داده‌های لرزه‌ای چندکاناله بدلیل در دسترس بودن ابزار و قابل اعتماد بودن نتایج استفاده شده است. داده‌های مربوطه در ۲۵ نقطه‌ی شهر برداشت گردید. در این مطالعه نتایج یک ایستگاه از منطقه‌ی غرب شهر ارائه شده و نتایج حاصل از آن با اطلاعات گمانه‌ی ژئوتکنیکی حفر شده در منطقه به منظور شناسایی نوع خاک، تعداد لایه‌ها و سرعت موج برشی در لایه‌ها مقایسه گردیده است. نتایج نشان‌دهنده‌ی تطابق اطلاعات گمانه‌ها با نتایج این روش است.

کلمات کلیدی: اثر ساختگاه، امواج سطحی، منحنی پاشش، امواج ریلی، داده‌های لرزه‌ای چندکاناله، سرعت موج برشی، ضریب مقاومت برشی

Obtainsite effect in Zanjan using surface waves dispersion curve

Mina Mohammadi¹, Sadegh Karimpouli², Zohreh Masoumi³, Abdoreza Ghods⁴

¹Maste' in Geophysics, Institute for Advance Studies in Basic Science

²Assistant professor, Department of engineering, University of Zanjan

³ Assistant professor, Department of Earth Science, Institute for Advance Studies in Basic Science

⁴ Associative professor, Department of Earth Science, Institute for Advance Studies in Basic Science

Abstract

The elastic property of near surface materials of the earth, especially the shear strength efficiency and its effect on the propagation of seismic waves in the geotechnical study of the site is of particular importance. The velocity of the shear waves is used to determine the degree of soil stiffness. In this study, Multi-channel Analysis of Surface Wave (MASW) method was used since it is an accessible, fast and low-cost method. In this method, the inverse of the dispersion curve of Rayleigh wave obtained from MASW was used due to the availability of the instrument and the reliability of the results for calculating shear wave velocity. The relevant data was collected in 25 cities. In this study, one station was selected and its results were compared with the results obtained from geotechnical boreholes for shear wave velocity and soil type. The results of the comparison show acceptable level of matching in these two data sets.

Keywords: Site effect, surface waves, Dispersion curve, Rayleigh wave, (MASW), shear wave velocity

۱ مقدمه

هنگام وقوع زلزله اثر منبع، اثر مسیر و اثر ساختگاه از عوامل مؤثر در خطرپذیری منطقه به شمار می‌آیند (آرنولد، ۲۰۰۷). از آنجاییکه کنترل دو عامل اول تقریباً امکان پذیر نمی‌باشد، از این رو شناخت اثرات محلی ساختگاه نقش مهمی در مقاوم سازی سازه‌ها به منظور کاهش خطر زلزله ایفا می‌نمایند. عوامل مختلفی در تأثیر ساختگاه مؤثر می‌باشند. با بررسی‌های صورت گرفته

بر روی زمین لرزه‌های مخرب دنیا از جمله مکزیکوسیتی (۱۹۸۵) رودبار-منجیل در ایران (۱۹۹۰) کوبه در ژاپن (۱۹۹۵) و ماپریتا در سانفرانسیسکو (۱۹۸۹)، اثر ساختگاه از بین سه عامل مؤثر، به وضوح میزان تاثیر خود را نشان داده است. در مطالعات نوروزی (۲۰۱۵)، چوبستی و همکاران (۲۰۱۳) نیز می‌توان به این مهم دست یافت، با وجود اینکه سازه‌های مشابه در شرایط یکسانی از لحاظ فاصله از منبع زلزله و مسیر انتشار در یک شهر قرار داشته‌اند، الگوی خرابی زلزله برای آنها یکسان نبوده است. سازه‌هایی که بر روی ساختگاه سنگی بوده‌اند، دچار آسیب کمتری نسبت به سازه‌های ساخته شده بر روی بسترهای رسوبی شده‌اند. این اثر همان عامل سوم از عوامل خطرپذیری زلزله تحت عنوان اثر ساختگاه شناخته می‌شود. اثر ساختگاه در واقع تقویت امواج لرزه‌ای تحت تاثیر لایه‌های سطحی خاک است.

از شناخته شده‌ترین اثرات ساختگاهی می‌توان به شکل توپوگرافی، جنس و ستبرای خاک و اثر خمیری خاک ساختگاه اشاره کرد (بارد و بوچان، ۱۹۸۰). بررسی‌ها نشان می‌دهد که ساختگاه‌های قرار گرفته روی تپه‌ها و یا دره‌ها در هنگام رخداد زمین لرزه انرژی بیشتری را به دلیل متمرکز شدن امواج در این نقاط تجربه خواهند کرد (نوگوشی و ایگاشی، ۱۹۷۱). افزایش ستبرای لایه‌های سست نیز سبب تشدید امواج لرزه‌ای خواهد شد و این اثر در بیشتر زمین لرزه‌هایی که اثرات ساختگاهی در آن دخیل بوده، دیده شده است. این امر می‌تواند به دلیل محبوس شدن امواج لرزه‌ای میان تراز سنگ بستر و لایه آبرفت باشد (جوادی اسدی فلاح ۱۳۹۴).

بدلیل اهمیت اثر ساختگاه در بسیاری از مناطق جهان محققان و مهندسان همواره به دنبال روش‌هایی برای تعیین اثر ساختگاه بوده‌اند. این روش‌ها عبارتند از روش‌های لرزه‌ای مانند روش انعکاسی و انکساری که دارای معایبی مانند گرانی و محدودیت‌هایی در نشان دادن لایه‌های کم سرعت و کم ضخامت می‌باشند. روش بعدی، روشی که در آن پاسخ ساختگاه به طور مستقیم از رکوردهای زلزله بدست می‌آید. این روش برای مناطقی که لرزه‌خیزی کم یا متوسط دارند بسیار زمان بر است (حق شناس و همکاران، ۲۰۰۸). آسان‌ترین و کم هزینه‌ترین روش، روش ثبت نوفه می‌باشد که در مناطق شهری به راحتی قابل اجرا می‌باشد. در این زمینه تحقیقات متنوعی انجام شده است که از جمله‌ی آنها می‌توان به (حق شناس و همکاران، ۲۰۰۸- کاسلز و همکاران، ۲۰۱۰- آنبازهاگان و همکاران، ۲۰۰۹- کانلی و همکاران، ۲۰۰۶- ترائینافایلا داس و همکاران، ۱۹۹۹- کانایی و همکاران، ۱۹۵۴) اشاره کرد. روش مورد استفاده در این رساله روش چند کاناله برای تجزیه و تحلیل امواج سطحی است که در زمره‌ی روش‌های لرزه‌ای دسته‌بندی می‌شود. اولین استفاده مستند از آن به اوایل سال ۱۹۸۰، زمانی که محققان در هلند با استفاده از یک سیستم ۲۴ کاناله جهت بدست آوردن سرعت موج برشی در زمین‌های آبرفتی شروع به کار کرده و به تجزیه تحلیل منحنی پاشش برگرفته از آنها پرداختند، می‌رسد. سپس در سال ۱۹۹۹ پارک و همکاران این روش را توسعه دادند. نتایج تحقیق آنها نشان داد وقتی امواج سطحی توسط یک پروفیل چند کاناله ثبت شده و در یک جاروب فرکانسی نمایش داده می‌شوند، اجزای فرکانسی مختلف از موج ریلی قابل شناسایی بوده که در این صورت با داشتن یک منحنی پاشش بسیار دقیق می‌توان پروفیل سرعتی منطقه را بدست آورد و از آن به عنوان ابزاری جهت تعیین خواص الاستیک مواد نزدیک سطح زمین استفاده نمود. از دیگر مطالعات انجام شده در این زمینه می‌توان به برداشت لرزه‌ای سه بعدی که در منطقه‌ای نزدیک شهر تورنتو در کانادا (سیاه‌کوهی و همکاران ۱۹۹۸) انجام شده اشاره کرد که در آن منحنی پاشش تئوری با منحنی پاشش بدست آمده از روش تحلیل طیفی مقایسه شده است. نتایج حاکی از انطباق خوب دو روش می‌باشد.

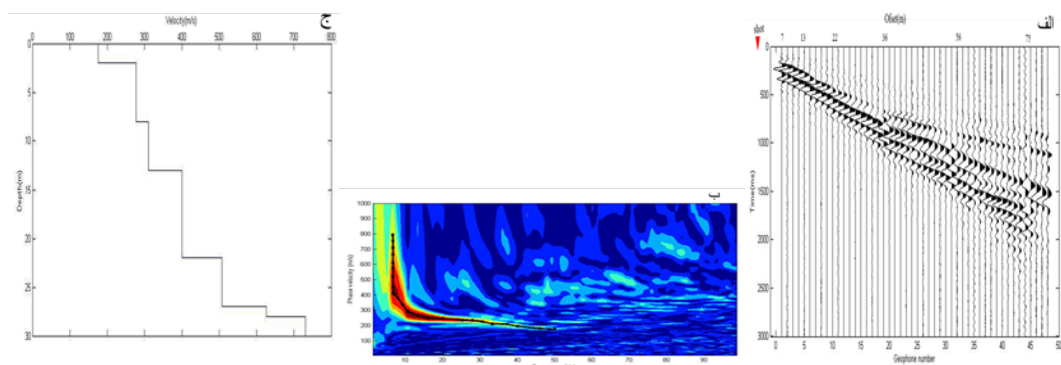
ویژگی‌های زمین‌شناسی و ژئومورفولوژیک استان زنجان و وجود گسل‌های بنیادی در استان و مناطق مجاور باعث شده است که استان زنجان به عنوان یکی از مناطق لرزه‌خیز کشور با خطر لرزه‌ای بالایی رده‌بندی شود (معاونت برنامه‌ریزی شهری زنجان، ۱۳۸۹). با توجه به بررسی‌های انجام شده در زمینه پهنه‌بندی خطر در ناحیه‌ی سواحل دریای خزر و پیرامون آنکه شامل نقشه‌ی خطر در شهر زنجان نیز می‌شود (ثبوتی و قدس، ۱۳۹۳) و با توجه به مطالعات تحلیل خطر در منطقه‌ی زنجان می‌توان به این مهم دست یافت که در شمال و شمال غرب شهر زنجان، سلطانیه و ابهر احتمال وقوع زلزله بیش از سایر مناطق می‌باشد. همچنین با وجود رودخانه‌ی زنجان رود در جنوب شهر می‌توان به وجود رسوبات سست رودخانه‌ای در این بخش پی برد بر اساس مطالب ذکر شده، هدف اصلی این مطالعه بررسی اثرات ساختگاهی با استفاده از روش MASW می‌باشد تا با بدست آوردن سرعت خاک در سی متر ابتدایی، نوع و ضخامت آن مشخص گردد. این کار منجر به تولید یک پروفایل یک بعدی سرعت به منظور شناسایی نوع خاک در منطقه خواهد شد.

۲ روش تحقیق

در روش لرزه‌نگاری MASW، رشته‌ای از ژئوفون‌های متصل به هم و متصل به لرزه‌نگار روی زمین قرار داده می‌شوند. هر چه عمق کاوش مدنظر بیشتر باشد فاصله‌ی ژئوفون‌ها از هم بیشتر در نظر گرفته می‌شود. بسته به عمق کاوش از منابع تولید موج مختلفی از جمله ضربه‌ی چکش روی زمین، استفاده از ویبراتور و یا انفجار دینامیت استفاده می‌گردد. زمان طی شده از منبع تا هر ژئوفون توسط دستگاه لرزه‌نگار ثبت و ذخیره می‌گردد. هر لرزه‌نگار، قادر به ثبت داده‌های چندین ژئوفون به صورت همزمان است که اصطلاحاً کانال نامیده می‌شود.

به منظور جمع‌آوری داده در این تحقیق، از لرزه‌نگار ۲۴ کاناله‌با نام Summit Acquisition Tool استفاده گردید. لرزه‌نگار جهت رقومی کردن سیگنال استفاده شده است. ژئوفون‌های مورد استفاده در این روش از نوع K بوده و منبع تولید موج نیز یک چکش ۱۲ پوندی می‌باشد. در هر ایستگاه به منظور افزایش دقت داده‌های برداشتی، دو برداشت ۲۴ تایی مجزا ولی در یک لاین و پشت سر هم صورت گرفت. سپس داده‌های این دو برداشت را یکی کرده و روی داده‌ی ۴۸ تایی از آن‌ها پردازش انجام شد. در هر برداشت نرخ نمونه‌برداری ۰/۲۵ میلی ثانیه بوده است. به منظور کاهش اثر نویزهای گذرا مانند حرکت وسایل نقلیه، اندازه‌گیری‌ها بین ساعت ۱۰ شب تا ۶ صبح انجام شده است. در مراحل برداشت داده تمامی نکات ارائه شده توسط Park (2016) Seismic که در آن دستورالعمل برداشت روش MASW ارائه شده، رعایت شده است.

در پردازش داده‌ها از برنامه‌های نرم‌افزار متلب استفاده شده است. مراحل پردازش داده‌ها در این تحقیق به صورت خلاصه به شرح ذیل است؛ پردازش داده‌ها با ورود فایل‌های لرزه‌ای میدانی که رکورد نامیده می‌شوند، شروع می‌شود. فرمت این داده‌ها معمولاً در غالب SEG-2 می‌باشد که به فرمت (seg-y) تبدیل می‌گردند. در ادامه یک سری اطلاعات اولیه مانند، (dt) فاصله‌ی نمونه برداری برابر با ۰/۲۵ میلی ثانیه و (dx) فاصله‌ی بین ژئوفون‌ها برابر با ۱/۵ متر وارد نرم‌افزار می‌شوند. بعد از آن نوبت به مرحله اصلی پردازش یعنی بدست آوردن یک تصویر پراکندگی از یک رکورد میدانی با استفاده از یک روش انتقال مانند روش شیفت فازی یا روش f-k آنالیزی می‌باشد. مهم‌ترین مرحله‌ی پردازش استخراج یک مد بنیادی از منحنی پاشش می‌باشد. برای این منظور برنامه‌ای با استفاده از مقالات (پارک، ۱۹۹۹) و بر پایه‌ی روش شیفت فازی در محیط نرم‌افزاری متلب نوشته شده است. در مرحله بعدی به منظور بدست آوردن پروفیل یک بعدی سرعت، محاسبات معکوس روی منحنی پاشش انجام شد. برای این کار ابتدا یک مدل اولیه از زمین تعریف می‌شود که منحنی پاشش بدست آمده از آن بسیار نزدیک به منحنی پاشش بدست آمده از رکورد خام باشد. مدل اولیه با توجه به اطلاعات گمانه‌های ژئوتکنیک موجود در منطقه، به دست آمد. این برنامه با محاسبه‌ی حداقل میزان RMS (Root Mean Square) بهترین مدل سرعتی ممکن را ارائه می‌دهد.

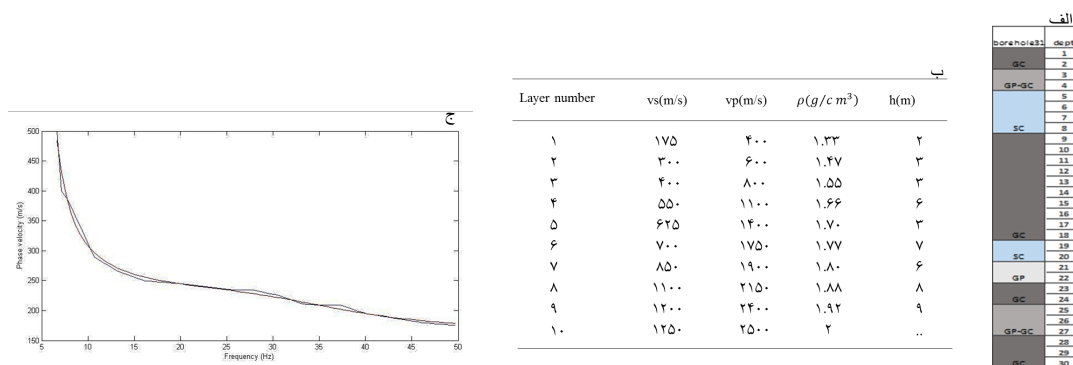


شکل ۱. الف- رکورد خام ثبت شده در ایستگاه (SROZ). ب- منحنی پاشش حاصل از رکورد شکل (الف). ج- پروفایل سرعتی حاصل از منحنی پاشش شکل (ب)

۳ نتایج

برداشت لرزه‌نگاری با روش تحلیل چندکاناله امواج سطحی در یک ایستگاه انتخابی در یکی از مناطق غربی زنجان انجام شده است. دلیل انتخاب این محل برای انجام برداشت‌ها، وجود گمانه حفر شده در این محل، به عمق ۳۰ متر می‌باشد. گفتنی است

این پروژه در حال تکمیل بوده و برای ۲۵ نقطه برداشت‌ها انجام شده است. برداشت‌های روش تحلیلی چندکاناله امواج سطحی در زمین صاف و هموار و در فاصله‌ی ۱۰۰ متری از گمانه‌ی مذکور انجام شده است. فاصله بین ژئوفون‌ها ۱/۵ متر در نظر گرفته شده است. طول برداشت ۷۵ متر می‌باشد و ضربه با فاصله ۸ متری از اولین و آخرین ژئوفون زده می‌شود. شکل ۱ رکورد خام ثبت شده، منحنی پاشش و پروفایل یک بعدی سرعت در این ایستگاه را نشان می‌دهد. شکل ۲ نیز مقایسه‌ی نتایج به دست آمده از روش و اطلاعات گمانه‌های ژئوتکنیک را نشان می‌دهد. همانطور که این شکل‌ها ملاحظه می‌شود، نتایج تطابق قابل قبولی با یکدیگر دارند.



شکل ۲. الف-اطلاعات گمانه‌ی ژئوتکنیک در منطقه که تا عمق ۳۰ متری شامل ۹ لایه با جنس خاک عمدتاً قلوه‌سنگ همراه با رس (GC)، قلوه‌سنگ با دانه‌بندی بد (GP) و ماسه همراه با رس (SC) می‌باشد. ب- داده‌های اولیه ورودی برای محاسبه منحنی پاشش. ج- منحنی آبی منحنی واقعی بدست آمده از شکل ۱ (ب) و منحنی قرمز منحنی محاسباتی با اینورژن می‌باشد که انطباق آنها قابل مشاهده است.

۴ نتیجه‌گیری

مقایسه‌ی پروفایل سرعت موج برشی حاصل از روش تحلیل چندکاناله امواج سطحی به عنوان روشی جدید و غیر مخرب با اطلاعات گمانه‌ی ژئوتکنیک موجود در منطقه که در این مطالعه به وسیله نینویسندگان ارائه شد، انطباق قابل قبولی تا عمق مورد مطالعه نشان می‌دهند. بنابراین می‌توان از روش تحلیلی چندکاناله امواج سطحی تعیین پروفایل سرعت موج برشی و بدست آوردن نوع و ضخامت خاک در ۳۰ متری ابتدایی خاک در موارد مختلف استفاده کرد.

منابع

- غزاله رسانه و حمید رضا سیاه‌کوهی، کاربرد روشهای لرزه‌ای (SFR) و (MASW) در محاسبه مدل سرعت امواج s و ضرایب کشسانی لایه های سطحی، کارشناسی ارشد، مؤسسه ژئوفیزیک، دانشگاه تهران.
- ثبوتی، فرهاد، حسامی، خالد، قدس، عبدالرضا، طیبسی، هادی. و عسگری، روح‌الله. (۱۳۸۷) لرزه خیزی و گسلش فعال در زنگان و مناطق مجاور. سیزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران. تهران، انجمن ژئوپلتیک ایران
- Arnold, C. 2007. Designing for Earthquakes A Manual for Architects. Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California.
- Bard, P.-Y. and Bouchon, M. 1980. The seismic response of sediment-filled valleys. Part 1. The case of incident SH waves. Bulletin of the Seismological Society of America, 70(4): 1263-1286.
- Park, C.B., Miller, R.D., and Xia, J., 1998a, Imaging dispersion curves of surface waves on multi-channel record: Kansas Geological Survey
- Park, C.B., Miller, R.D., and Miura, H., 2002, Optimum field parameters of an MASW survey Tokyo, May 22-23, 2002.