برآورد عدم قطعیت ناشی از شبکه برداشت داده لرزه‌ای برای شناسایی ساختار گسل پردیسان با استفاده از نوفه‌های لرزه‌ای محیطی

سید جاسر متولی عنبران[۱]، علی مرادی[۲]، تقی شیرزاد[۳]

[۱]دانشجوی دوره دکتری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، Motavalli1393@ut.ac.ir

[۲]هیات علمی موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، asmoradi@ut.ac.ir

[۳]موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، tshirzad@igf.edu.pl

چکیده

با توجه به افزایش جمعیت و گسترش روزافزون ساختارهای شهری، شناسایی گسل‌های پنهان و شناخته‌نشده در کلان‌شهرها، به‌منظور توسعه پایدار پیش از احداث برخی سازه‌های با اهمیت (مانند برج‌های مسکونی، بیمارستان‌ها، تونل‌های مترو، خطوط انتقال انرژی نظیر آب، برق، گاز، مخابرات و همچنین احداث مراکز تجاری و نظامی و غیره) امری ضروری است. برای شناسایی گسل‌هایی دارای رخنمون و یا پنهان، می‌توان از روش‌های متفاوت ژئوفیزیکی بهره برد. اخیراً استفاده از نوفه‌های لرزه‌ای محیطی، به دلیل مزایایی چون نداشتن مزاحمت‌های روش‌های مرسوم لرزه‌ای و همچنین عدم آسیب به محیط زیست، بسیار مورد توجه و استفاده قرار گرفته است. لذا در این مطالعه، شبکه‌ای برای برداشت داده نوفه لرزه‌ای محیطی در مسیری شمالی-جنوبی به طول ۳ کیلومتر، با فواصل بین ایستگاهی حدود ۷۰ متر، طراحی شده است. این پروفیل، متقاطع با گسل نهان و احتمالی راندگی پردیسان، در شهر تهران می‌باشد. پیش از فرآیند داده‌برداری، نیاز است تا مدل‌سازی مصنوعی برای این شبکه برداشت داده انجام پذیرد، تا قابلیت تفکیک‌پذیری و خطای ناشی از طراحی شبکه، محاسبه گردد.

واژه‌های کلیدی: توموگرافی زمان‌سیر، طراحی شبکه برداشت داده، نوفه لرزه‌ای محیطی، گسل پردیسان، مدل‌سازی مصنوعی

Estimation of the uncertainty due to design a seismic array to investigate the structure of Pardisan Fault using ambient seismic noise

Seyed-Jasser Motavalli-Anbaran [1], Ali Moradi [1], Taghi Shirzad[1]

[1] Institute of Geophysics, University of Tehran

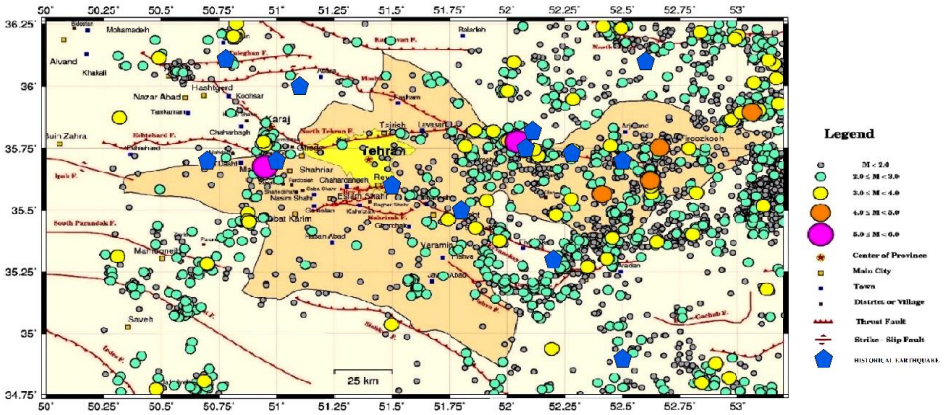
Abstract

Due to the population growth and expansion of urban structures, it is an essential to identify hidden and unknown faults in cities for sustainable development before the construction of some important structures (e.g., residential towers, hospitals, subway tunnels, energy transmission lines such as water, electricity, gas, Telecommunications and also large commercial, military centers, etc.). There are different geophysical methods for identifying hidden faults or fault with clear escarpments. Recently, the use of ambient seismic noise has been used widely due to its advantages no disturbance of conventional seismic methods and no damage to the environment. Therefore, we designed a northward seismic array with inter-station distances of ~70 m and 3 km length to collect raw data. This array intersects the hidden and probable Pardisan fault within Tehran city. Prior to extract field data, the synthetic modeling was performed to calculate the quality and uncertainty resulting from the designed array.

Keywords: seismic array design, Ambient seismic noise, Travel time tomography, Synthetic modeling, Pardisan Fault.

۱ مقدمه

کلان‌شهر تهران در لبه جنوبی کوه‌های البرز قرار دارد، که بر اساس مطالعه جمور (۲۰۱۰) در حال حاضر حدود ۵ میلی‌متر در سال کوتاه شدگی را تجربه می‌کند. شکل۱، رومرکز زمین‌لرزه‌های ۵ سال اخیر تهران و حوالی آن (۱۳۹۵/۹/۱۵ – ۱۴۰۰/۹/۱۵) به همراه رومرکز زمین‌لرزه‌های تاریخی برگرفته از کاتالوگ میرزایی (۲۰۰۰)، را نشان می‌دهد. علاوه بر سابقه لرزه‌خیزی و رخداد زمین‌لرزه‌های بزرگ در گذشته، شاهد رخداد زمین‌لرزه در داخل شهر تهران هستیم که این امر با توجه به جمعیت بالای شهر تهران، ریسک لرزه‌ای بالای آن را نشان می‌دهد.



شکل۱. رومرکز زمین‌لرزه‌های ۵ سال اخیر تهران و حوالی آن (۱۳۹۵/۹/۱۵ – ۱۴۰۰/۹/۱۵) به همراه رومرکز زمین‌لرزه‌های تاریخی.

با توجه به ساخت‌وسازهای روزافزون شهری و همچنین ضخامت رسوبات آبرفتی در شهر تهران، تقریباً اطلاعات دانشمندان حوزه علوم زمین نسبت به موقعیت و حضور گسل‌های پنهان و حتی گسل‌های شناخته‌شده، در این کلان‌شهر بسیار ناچیز است و از طرفی ضرورت شناخت این ساختارها به جهت داشتن توسعه پایدار و کاهش خسارت‌های شهری در اثر وقوع زلزله احتمالی، پیش از ساختِ سازه‌های عظیم و حیاتی مانند تونل‌های مترو، کانال‌های انتقال انرژی (آب، برق، گاز و مخابرات)، تونل‌های جاده‌های شهری و ساختمان‌های بزرگ بسیار بااهمیت است.

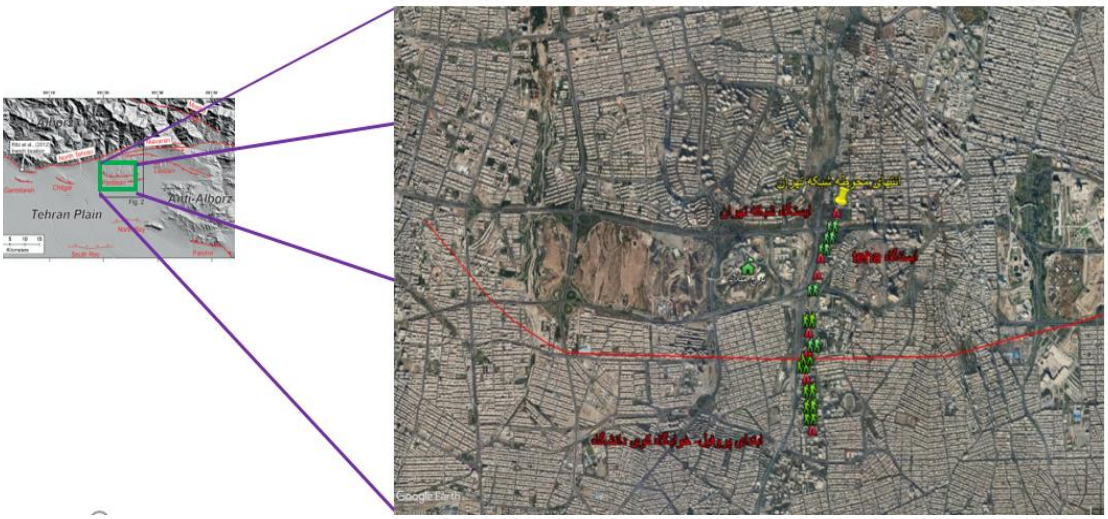
با توجه به ساختارهای شهری و همچنین حفظ آرامش شهروندان، اجازه استفاده از روش‌های لرزه بازتابی داده نمی‌شود. درنتیجه، استفاده از روش غیر مخرب تداخل‌سنجی نظیر نوفه‌های لرزه‌ای محیطی، برای تصویرسازی ساختارهای نزدیک سطح، یکی از مناسب‌ترین گزینه‌ها می‌باشد. عباسی و فربود (۲۰۰۹) و طالبیان و همکاران (۲۰۱۶)، با توجه به اینکه لبه جنوبی طاقدیس پردیسان نسبت به لبه شمالی آن شیب بیشتری دارد و تغییرات ناگهانی بلندا در لبه جنوبی آن قابل‌مشاهده است، گسلی پنهان با سازوکار راندگی با شیب به سمت شمال در لبه جنوبی طاقدیس پردیسان را عامل این تغییرات توپوگرافی معرفی نمودند. لذا در این مطالعه اقدام به طراحی شبکه برداشت داده نوفه‌های لرزه‌ای محیطی، برای بررسی ساختار نزدیک سطح بر روی گسل پردیسان شد که بر پایه مطالعه طالبیان و همکاران (۲۰۱۶)، امروزه حدود ۱ میلی‌متر در سال کوتاه شدگی را تجربه می‌کند.

۲ روش تحقیق

در این مطالعه، شبکه برداشت داده نوفه‌های لرزه‌ای محیطی بر روی طاقدیس پردیسان و در امتداد متقاطع با آن در امتداد خیابان کارگر شمالی، طراحی شده است. بر پایه مطالعه طالبیان و همکاران (۲۰۱۶)، مکان تقریبی گسل پردیسان در عمق چند ۱۰۰ متری و در لبه جنوبی طاقدیس پردیسان و در زیر پوششی از لایه‌های آبرفتی مدفون می‌باشد که تاکنون هیچ‌گونه رخنمونی از آن دیده نشده است. بر پایه مطالعاتِ عباسی و فربود (۲۰۰۹) و طالبیان و همکاران (۲۰۱۶) و طی چند ماه بررسی‌های میدانی، جانمایی حسگرهای لرزه‌ای متعلق به شرکت انرژی دانا در راستای پروفیلی در جهت عمود بر راستای گسل پردیسان انجام شده است. این حسگرها در محدوده فرکانسی۰.۲ تا ۵۰ هرتز قابلیت ثبت امواج

لرزه‌ای را دارند که برای ثبت نوفه‌های شهری مناسب است. شکل۲، پروفیل طراحی شده به طول ۳ کیلومتر را نشان می‌دهد که فواصل بین ایستگاهی حداقل۷۰ متر و به‌صورت ترکیبی از ایستگاه‌های ثبت داده بلند مدت و کوتاه مدت است.

این شبکه با به‌کارگیری ۱۱ ایستگاه (به‌صورت جفت ترکیب ممکن در راستای پروفیل و در نقاط مشخص‌شده (در شکل۲)، به مدت ۲ ساعت (ثبت داده کوتاه مدت)، اقدام به ثبت داده نوفه لرزه‌ای می‌کنند. البته در این میان، ۸ ایستگاه به‌صورت ثابت و پیوسته در تمام ۱۰ روز، داده‌ها را ثبت می‌کنند. در طراحی این شبکه، همچنین از داده ثبت‌شده توسط مرکز لرزه‌نگاری کشوری، شامل TEH و TEHA، نیز استفاده خواهد شد. با توجه به نهان بودن این گسل، طراحی فوق به‌منظور بررسی ساختار سرعتی موج برشی، از عمق ۲۰۰ متر تا ۱۰۰۰ متر انجام شده است. لازم به ذکر است که با توجه به بازه فرکانسی مورد استفاده در این مطالعه (۰.۵ تا ۵ هرتز)، محل مناسب برای قرارگیری حس‌گرها، با در نظر گرفتن نکاتی همچون قرار نگرفتن در کنار موتورخانه‌ها و تأسیسات ساختمان‌های اداری و قرار نگرفتن در نواحی با نوفه فرکانس بالای گذرا، در نظر گرفته شده است.

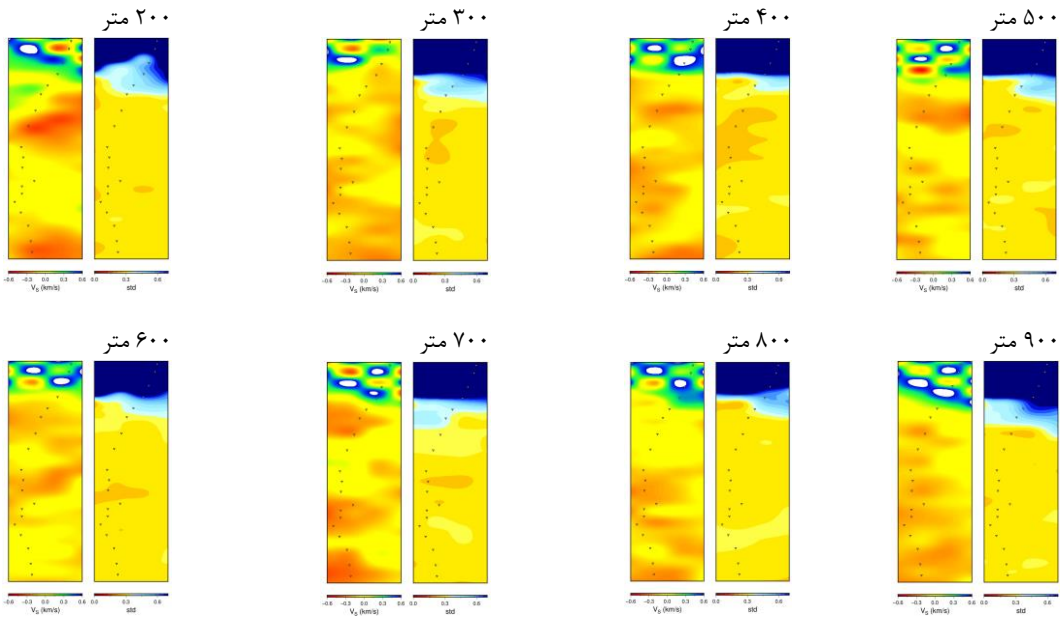


شکل۲. موقعیت گسل پردیسان، بازنمایی شده در نقشه جدید شهری، برگرفته از مطالعه طالبیان و همکاران (۲۰۱۶) (شکل سمت چپ)، که در بستر نرم‌افزار گوگل ارث ۲۰۲۲، با خط قرمز توپر و در امتداد شرق به غرب، به همراه پروفیل طراحی‌شده به طول ۳ کیلومتر نشان داده شده است. ایستگاه‌های ثابت (۱۰ روز ثبت پیوسته داده) با مثلث‌های قرمز و ایستگاه‌های موقت (۲ ساعت ثبت داده) توسط آدمک‌های سبز رنگ مشخص شده‌اند. موقعیت برج میلاد با علامت خانه سبز رنگ مشخص شده است.

برای بررسی تاثیر هندسه شبکه داده‌برداری طراحی‌شده و میزان خطای سرعت موج برشی ناشی از آن، مدل‌سازی مصنوعی بر روی این پروفیل انجام پذیرفت. برای این منظور، برای تمامی جفت ایستگاه‌های ممکن ($19 * 18/2$ جفت ایستگاه)، منحنی‌های پاشندگی مصنوعی با استفاده از بسته نرم‌افزاری هرمن (۲۰۱۳)، تولید شده است. برای تولید این منحنی‌های پاشندگی، از مدل سرعت موج برشی اولیه (یک بعدی و در راستای افقی مقدار ثابت؛ محاسبه شده توسط شیرزاد و شمالی ۲۰۱۳) استفاده شده است. سپس برای حل مسئله مستقیم (forward modeling) و تعیین زمان‌سیرها، از این مدل سرعتی اولیه برای سرتاسر پروفیل استفاده گردید. مقادیر زمان‌سیرهای مصنوعی، با استفاده از برنامه توموگرافی امواج سطحی سریع‌ترین پیشروی (FMST؛ راولینسون و سامبریج ۲۰۰۵) وارون و تبدیل به مدل سرعت موج برشی شدند. مدل سرعتی اولیه برای فرآیند وارون‌سازی، مدلی با بلوک‌های متوالی و دارای نوسانات سرعتی ۰/۵ ± km/s می‌باشد.

نتایج مدل‌سازی برای اعماق ۲۰۰ تا ۹۰۰ متری (از سطح) با فواصل بین لایه‌ای ۱۰۰ متر، در شکل۳ نشان داده شده است. با توجه به خطی بودن شبکه، عکس فرایند آزمایش صفحه شطرنجی در گستره مورد مطالعه پیاده‌سازی گردید.

لذا در مناطقی قابلیت تفکیک‌پذیری خواهیم داشت که تغییرات سرعتی نزدیک به صفر باشد.



شکل۳. نتایج مدل‌سازی برای اعماق ۲۰۰ تا ۹۰۰ متری (از سطح) با فواصل بین لایه‌ای ۱۰۰ متر. موقعیت ایستگاه‌ها توسط مثلث وارونه نشان داده شده است. مناطقی که تغییرات سرعتی نزدیک به صفر می‌باشد، با رنگ زرد مشخص شده‌اند.

۳ نتیجه‌گیری

با توجه به موقعیت تقریبی گسل پردیسان، شبکه برداشت داده نوفه لرزه‌ای محیطی طراحی گردید. با توجه به نتایج مدل‌سازی مصنوعی، در مناطقی که دارای تغییرات سرعتی نزدیک به صفر است (نواحی رنگ زرد)، در نتایج نهایی قدرت تفکیک‌پذیری خواهیم داشت. همچنین با توجه به ترکیب جفت ایستگاه‌ها و بازه فرکانسی مورد استفاده (۰.۵ تا ۵ هرتز)، قدرت تفکیک‌پذیری از عمق ۳۰۰ متر شروع و تا ۹۰۰ متر، در این مطالعه، قابل اتکا خواهد بود. از طرفی، بخش‌های شمالی آرایه به علت نحوه داده‌برداری، در هیچ عمقی دارای قدرت تفکیک‌پذیری نیستند. این نواحی به دلیل عدم اهمیت لایه‌های فوقانی در این گستره، اقدام به داده‌برداری برای حصول تفکیک‌پذیری بالا صورت نگرفته است، زیرا با محل تقریبی گسل فاصله زیادی دارد. همچنین با دقت در تصاویر (شکل ۳) به‌دست آمده، اگر آنومالی ناشی از گسل، با تباین سرعتی کمتر از ۲۵۰ متر بر ثانیه (رنگ نارنجی) وجود داشته باشد، توسط این شبکه طراحی شده، قابل تصویرسازی نخواهد بود.

۴ تقدیر و تشکر

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند مراتب تشکر خود را از همکاری‌های شرکت انرژی دانا (https://www.danaenergy.com)، در جهت پیشبرد اهداف این پژوهش اعلام کنند.

منابع

پارامترهای مبنایی زمین‌لرزه‌های ایران، نوربخش میرزایی، محمدرضا قیطانچی، سعید ناصریه، محمد رئیسی، زویا ظریفی و سید قاسم طبائی، دانش نگار، زمستان ۱۳۸۱.

Abbassi, M.R. and Farbod, Y., 2009. Faulting and folding in quaternary deposits of Tehran’s piedmont (Iran). Journal of Asian Earth Sciences, 34(4), pp.522-531.

Djamour, Y., Vernant, P., Bayer, R., Nankali, H.R., Ritz, J.F., Hinderer, J., Hatam, Y., Luck, B., Le Moigne, N., Sedighi, M. and Khorrami, F., 2010. GPS and gravity constraints on continental deformation in the Alborz mountain range, Iran. Geophysical Journal International, 183(3), pp.1287-1301.

Herrmann, R.B., 2013. Computer programs in seismology: An evolving tool for instruction and research. Seismological Research Letters, 84(6), pp.1081-1088.

Rawlinson N. and M. Sambridge 2005. The fast marching method: An effective tool for tomographic imaging and tracking multiple phases in complex layered media, Explor. Geophys. 36, 341-350.

Shirzad, T. and Shomali, Z.H., 2014. Shallow crustal radial anisotropy beneath the Tehran basin of Iran from seismic ambient noise tomography. Physics of the Earth and Planetary Interiors, 231, pp.16-29.

Talebian, M., Copley, A.C., Fattahi, M., Ghorashi, M., Jackson, J.A., Nazari, H., Sloan, R.A. and Walker, R.T., 2016. Active faulting within a megacity: the geometry and slip rate of the Pardisan thrust in central Tehran, Iran. Geophysical supplements to the monthly notices of the Royal Astronomical Society, 207(3), pp.1688-1699.