

## تعیین منحنی‌های پاشندگی امواج ریلی در ناحیه غرب ایران با استفاده از داده نوفه محیطی

بهاره کرمی<sup>۱</sup>، مهدی رضاپور<sup>۲</sup>، تقی شیرزاد<sup>۳</sup><sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد زلزله شناسی، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، bahareh.karami@ut.ac.ir<sup>۲</sup> دانشیار، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، rezapour@ut.ac.ir<sup>۳</sup> دانشجوی پسادکتری، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، tshirzadiraj@ut.ac.ir

## چکیده

روش استفاده از داده نوفه محیطی در مقایسه با روش‌های کلاسیک توموگرافی سبب شناخت بیشتر ساختار سرعتی زمین می‌گردد. در این پژوهش، توابع گرین تجربی از همبستگی متقابل نوفه محیطی لرزه‌ای ثبت شده بین جفت ایستگاه در عرض جغرافیایی ۳۳-۳۵ درجه شمالی و طول جغرافیایی ۴۵-۴۹ درجه شرقی به دست آمده است. برای این منظور، از مولفه قائم داده‌های پیوسته ثبت شده در ایستگاه‌های مرکز لرزه نگاری کشوری (IRSC) شامل ۱۳ ایستگاه سرعت نگار باندپهن و ۳ ایستگاه سرعت نگار پرپود کوتاه استفاده شده است. به طوریکه داده ثبت شده به مدت ۲۳ ماه از ژانویه ۲۰۱۵ تا نوامبر ۲۰۱۶ مورد استفاده قرار گرفت. بعد از به دست آوردن توابع گرین تجربی با برانباشت‌های مختلف، منحنی‌های پاشندگی سرعت گروه امواج ریلی با استفاده از روش تحلیل فیلتر چندگانه و سرعت فاز به روش تبدیل تصویر تعیین گردید.

واژه‌های کلیدی: نوفه محیطی، همبستگی متقابل، توابع گرین تجربی، منحنی پاشندگی، امواج ریلی، سرعت گروه/فاز

## Rayleigh wave dispersion curves using ambient noise data in the western part of Iran

Bahareh Karami<sup>1</sup>, Mehdi Rezapour<sup>2</sup>, Taghi Shirzadj<sup>3</sup><sup>1</sup> M.Sc. Student, Institute of Geophysics, University of Tehran, E-mail: bahareh.karami@ut.ac.ir<sup>2</sup> Associate Professor, Institute of Geophysics, University of Tehran, E-mail: rezapour@ut.ac.ir<sup>3</sup> Postdoc student, Institute of Geophysics university of Tehran, E-mail: tshirzadiraj@ut.ac.ir

## Abstract

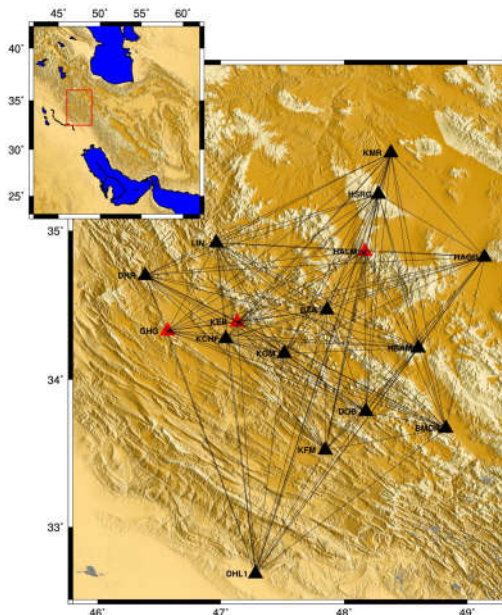
approach of using ambient noise data in additional of classical tomographic methods using seismic waves data generated by seismic sources such as earthquake would be a great help us to enhance knowledge of velocity structure crust. In this study, we determined the optimal Green's Functions using cross-correlation of a long time ambient seismic noise recorded by seismic stations. We used the continuous vertical component data which recorded by 13 broadband and 3 short-period seismometers operated by IRSC. The data were recorded for 23 months from January 2015 to November 2016. After retrieving EGF by different stacking methods, Rayleigh wave group and phase velocity were calculating. To calculate group velocity and phase velocity, we used the phase match filtering and Image transformation methods, respectively.

**Keywords:** Ambient seismic noise, Cross correlation, Empirical Green's functions, Dispersion curve, Rayleigh waves, Velocity group/phase

## ۱ مقدمه

زاگرس به لحاظ لرزه‌خیزی یکی از فعال‌ترین و زلزله‌خیزترین مناطق ایران می‌باشد. به طوریکه بیش از ۵۰ درصد زمین لرزه‌های ایران، در گستره زاگرس روی داده است (میرزایی و همکاران ۱۹۹۸). بخش غربی زاگرس به وسیله گسل‌های فعالی چون گسل عهد حاضر (Main Recent Fault)، گسل زاگرس مرتفع (High Zagros Fault) و گسل جبهه کوه‌های زاگرس (Zagros Mountain Front Fault) احاطه شده است. این گسل‌های موجود در گستره زاگرس عامل اصلی لرزه‌خیزی در این منطقه می‌باشند. همچنین وجود نهشته‌های تبخیری در زمین ساخت زاگرس سبب تشدید شدت زمین‌لرزه‌ها می‌شود. لذا شناسایی ساختار پوسته زمین در این منطقه می‌تواند به تعیین محل دقیق‌تر زمین‌لرزه‌ها و همچنین شناسایی گسل‌های فعال و پنهان در منطقه منجر شود. امروزه برای به دست آوردن ساختار سرعتی زمین از داده نوفه محیطی به وفور استفاده می‌شود. لذا با استفاده از داده‌های نوفه لرزه‌ای که در زمان‌های یکسان بین جفت ایستگاه لرزه نگاری ثبت شده، می‌توان توابع گرین تجربی محیط را برای فواصل بین جفت ایستگاه تعیین کرد (شاپیرو و کمپیلو ۲۰۰۴، سابرا و همکاران ۲۰۰۵). نوفه محیطی، به صورت خرد لرزه‌های دارای منابع طبیعی با فرکانس پایین (در حدود کمتر از ۱ هرتز) تعریف می‌شود. از مزایای استفاده از داده نوفه

محیطی تکرارپذیر بودن و نداشتن وابستگی جهتی است (یانگ و همکاران، ۲۰۰۷). امواج سطحی دارای خاصیت پاشندگی هستند یعنی در ازای فرکانس‌های مختلف سرعت‌های متفاوتی دارند. با توجه به این خاصیت می‌توان به اطلاعات مفیدی در مورد ساختار زمینی که امواج از آن عبور کرده‌اند، دست یافت. در این پژوهش با استفاده از داده نوفه محیطی منحنی‌های پاشندگی بهینه برای بخش زاگرس غربی تعیین می‌گردد. در شکل ۱ منطقه مورد مطالعه به همراه ایستگاه‌های مورد نظر نمایش داده شده است.



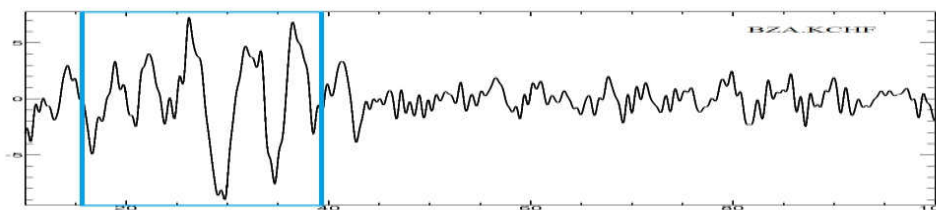
شکل (۱): نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه. ۱۳ ایستگاه لرزه نگاری باندپهن با مثلث مشکی رنگ و ۳ ایستگاه لرزه نگاری پربود کوتاه با مثلث قرمز رنگ نشان داده شده است.

## ۲ داده و روش مورد استفاده

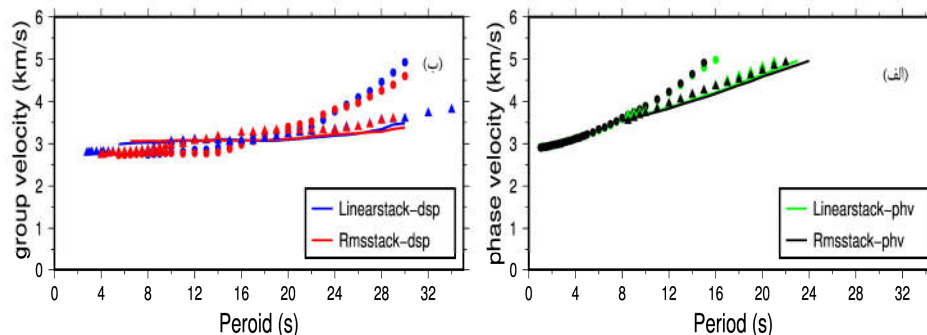
بازه داده مورد استفاده از ابتدای ژانویه ۲۰۱۵ تا ۳۰ نوامبر ۲۰۱۶ می‌باشد. پردازش داده‌ها مطابق روش بنسن و همکاران (۲۰۰۷) صورت گرفته است. بدین ترتیب، ابتدا برای آماده سازی داده‌ها، مقدار میانه، روند روزانه و پاسخ دستگاهی حذف گردید، سپس زمان نمونه برداری داده‌ها به ۱۰ نمونه بر ثانیه کاهش یافته و با اعمال فیلتر میان گذر ۰/۵ تا ۱ هرتز بازه فرکانسی مورد مطالعه مشخص شده است. در ادامه، داده‌ها به پنجره‌های زمانی با طول یکسان یک ساعت تقسیم شده‌اند. در مرحله بعد، برای حذف رویدادهای پارانرژی نظیر زمین‌لرزه‌ها از بهنجارش در حوزه زمان و فرکانس استفاده شده است. بهنجارش زمانی تک بیت استفاده شده سبب جایگزینی دامنه‌های مثبت سیگنال با ۱ و دامنه‌های منفی با -۱ بدون تغییر در اطلاعات فاز گردیده است. در حوزه فرکانس نیز بهنجارشی تحت عنوان سفیدسازی طیف اعمال شده است. برای افزایش درجه همدوسی توابع پیوسته از هم پوشانی ۶۳٪ در پنجره‌های زمانی نگاشت آماده استفاده شده است (چو و همکاران، ۲۰۰۷). بعد از آماده سازی داده‌ها، فرایند همبسته‌سازی متقابل بین تمام جفت ایستگاه‌های موجود صورت گرفته است. در مرحله بعدی برای افزایش نسبت سیگنال به نوفه دو روش برانباشت خطی و برانباشت جذر میانگین مربعات به کار برده شده است. در روش جذر میانگین مربعات با توجه به سرعت امواج ریلی و فاصله جفت ایستگاهی پنجره‌های سیگنال مشخص شده‌اند. در ادامه روش برای تمامی جفت ایستگاه‌ها منحنی‌های جذر میانگین مربعات رسم و با توجه به تغییر شیب آن‌ها تعداد توابع همبسته برای برانباشت به دست آمده است (شیرزاد و شمالی، ۲۰۱۳). بعد از مرحله برانباشت، توابع گرین تجربی برای تمامی جفت ایستگاه‌های مورد نظر حاصل گردید که در شکل ۲ نمونه ای از این توابع نشان داده شده است.

در مرحله آخر پژوهش از توابع گرین تجربی حاصل شده با به کارگیری تکنیک تبدیل تصویر برای سرعت فاز (یا تو و همکاران، ۲۰۰۶) و تکنیک تحلیل فیلترچندگانه برای سرعت گروه (لوشین و همکاران، ۱۹۸۹) به کمک نرم افزار هرمن و آمون (۲۰۰۲) منحنی‌های پاشندگی ترسیم شده است. لازم به ذکر است، منحنی‌های پاشندگی سرعت گروه و فاز امواج ریلی در

بازه ی پرپودی ۱ تا ۳۵ ثانیه محاسبه شده‌اند. این منحنی‌های پاشندگی به صورت نمودارهای سرعت برحسب پرپودی می‌باشد که نمونه‌ای از آن‌ها در شکل ۳ نمایش داده شده است.



شکل (۲): تابع گرین تجربی بین دو ایستگاه BZA و KCHF با فاصله ایستگاهی ۷۸ کیلومتر. پنجره امواج سطحی مورد استفاده در این مطالعه با رنگ آبی نمایش داده شده است.



شکل (۳): منحنی‌های پاشندگی امواج ریلی. (الف) نمودارهای سرعت فاز که برای جفت ایستگاه‌های HALM.HAGD با دایره، جفت ایستگاه KCHF.HAGD با خط و جفت ایستگاه LIN.HSAM با مثلث نمایش داده شده است. (ب) نمودارهای سرعت گروه که برای جفت ایستگاه‌های HALM.HAGD با دایره، جفت ایستگاه KCHF.HAGD با خط و جفت ایستگاه LIN.HSAM با مثلث نمایش داده شده است.

### ۳ نتیجه‌گیری

با استفاده از توابع گرین تجربی حاصل شده و با به کارگیری تکنیک تبدیل تصویر برای سرعت فاز و تکنیک تحلیل فیلترچندگانه برای سرعت گروه نمودارهای پاشش امواج ریلی در بازه پرپودی ۱ تا ۳۵ ثانیه به دست آمده است. شکل ۳ نشان می‌دهد که سرعت گروه و فاز توابع گرین یکسان با دو روش برانباشت متفاوت تطابق خوبی با هم دارند. همچنین این مقادیر در مقایسه با منحنی‌های پاشندگی جهانی نیز تطابق قابل قبولی را نشان می‌دهند. نهایتاً با داشتن منحنی‌های پاشندگی امواج ریلی با استفاده از وارون سازی می‌توان سرعت موج برشی در منطقه را به دست آورد.

### منابع

- Bensen, G. D., M. H. Ritzwoller, M. P. Barmin, A. L. Levshin, F. Lin, M. P. Moschetti, N. M. Shapiro, and Y. Yang (2007). Processing seismic ambient noise data to obtain reliable broad-band surface wave dispersion measurements, *Geophys. J. Int.* 169, 1239–1260
- Cho, K. H., R. B. Herrmann, C. J. Ammon, and K. Lee (2007). Imaging the upper crust of the 208 Korean peninsula by surface-wave tomography, *Bull. Seismol. Soc. Am.* 97, 198–207
- Herrmann, R. B., and Ammon, C. J., 2002, *Computer Programs in Seismology – Surface Waves, Receiver Functions and Crustal Structure*. Saint Louis University; <http://www.eas.slu.edu/People/RBHerrmann/ComputerPrograms.html>.
- Levshin, A. L., Yanovskaya, T. B., Lander, A. V., Bukchim, B. G., Barmin, M. P., Ratnikova, L. I., Its, E. N., *Seismic surface waves in laterally inhomogeneous earth*. Kluwer Academic Publishers, 1989.
- Mirzaei, N., Gao, M., Chen, Y. T., 1998, Seismic source regionalization for seismic zoning of Iran: major seismotectonic provinces. *J. Earthquake prediction Research*, 7, 465–495.
- Sabra K. G., P. Gerstoft, P. Roux, W. A. Kuperman & M. C. Fehler (2005). Extracting timedomain Green's function estimates from ambient seismic noise. *Geophys. Res. Lett.* 32, L03310, doi:10.1029/2004GL021862
- Shapiro, N. M., M. Campillo (2004). Emergence of broadband Rayleigh waves from correlations of the ambient seismic noise, *Geophys. Res. Lett.* 31, L07614, doi:10.1029/2004GL019491
- Shirzad, T., and Shomali Z. H., 2013, Shallow Crustal Structures of the Tehran basin in Iran resolved by Ambient Noise Tomography. *Geophys. J. Int.*, doi: 10.1093/gji/ggt449
- Yang, Y., Ritzwoller, M. H., Levshin, A. L., and Shapiro, N. M., 2007. Ambient noise Rayleigh wave tomography across Europe, *Geophys. J. Int.*, 168, 259–274,
- Yao, H., R. D. Van Der Hilst, & M. V. de Hoop (2006). Surface wave array tomography in SE Tibet from Ambient Seismic Noise and Two Station Analysis—I. Phase Velocity Maps, *Geophys. J. Int.* 166, 732–744