

ناهمسانگردی شعاعی در پوسته فلات ایران براساس مطالعه نوفه محیطی

رامین موقری¹، غلام جوان دلویی²، احمد سدیدخوی³

¹دانشجوی دکتری، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، r.movaghari@iiees.ac.ir

²کانشیار، پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله، javandoloei@iiees.ac.ir

³استادیار، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، asadid@ut.ac.ir

چکیده

امروزه استفاده از روش توموگرافی نوفه لرزه ای به منظور تخمین تصاویر توموگرافی از ساختارهای پوسته زمین به ابزاری محبوب تبدیل شده است. بر اساس این روش، محاسبه همبستگی متقابل بین نوفه های لرزه ای ثبت شده در دو ایستگاه معادل تابع گرین تجربی بین آنها است. استفاده از مولفه قائم و افقی لرزه نگاشت ها، به ترتیب منجر به تخمین توابع گرین امواج ریلی و لاو می شود. در این مطالعه از اختلاف بین سرعت موج برشی حاصل از وارون سازی توابع گرین امواج ریلی و لاو در جهت تعیین ناهمسانگردی شعاعی در پوسته فلات ایران استفاده شده است. همبستگی متقابل داده های پیوسته ثبت شده در 98 ایستگاه لرزه ای محاسبه و منحنی های پاشندگی در راستای محاسبه تصویر های توموگرافی دوبعدی در محدوده پریود 8 تا 50 ثانیه به کار گرفته شدند. در نهایت مدل های شبه سه بعدی سرعت موج برشی و ناهمسانگردی شعاعی با استفاده از وارون سازی همزمان منحنی های پاشندگی محلی سرعت فاز امواج ریلی و لاو با بهره گیری از روش زنجیره مارکوف مونت کارلو (MCMC) محاسبه شدند. نتایج بدست آمده نشان دهنده وجود کانی های به شدت ناهمسانگرد در پوسته و گوشته فوقانی زاگرس هستند در حالیکه میزان ناهمسانگردی شعاعی در پوسته ایران مرکزی نسبت به نواحی مجاور کمتر است.

واژه های کلیدی: امواج سطحی، توموگرافی، سرعت فاز، ساختار سرعتی پوسته، نوفه لرزه ای، ناهمسانگردی شعاعی.

Crustal radial anisotropy beneath Iran plateau based on ambient noise study

Ramin Movaghari¹, Gholam Javan Doloei²
Ahmad Sadidkhoy³

¹Ph.d student, International institute of earthquake engineering and seismology, r.movaghari@iiees.ac.ir

¹Associate professor, International institute of earthquake engineering and seismology, javandoloei@iiees.ac.ir

¹Assistant professor, Institute of geophysics, University of Tehran, asadid@ut.ac.ir

Abstract

In recent years, ambient noise tomography (ANT) has been applied as a favorable tool to image crustal structures. Based on this method, the cross-correlation between random oscillations recorded at two stations corresponds to the empirical Green's function (EGF), as if an impulsive force is applied at one station and recorded at the other station. The processing of the vertical and horizontal components of the noise data result in EGF of Rayleigh and Love waves, respectively. In this research, the difference between shear wave velocities resulted from the inversion of Rayleigh and Love dispersion curves are calculated to determine crustal radial anisotropy beneath the Iran plateau. The continuous ambient noise data recorded in eighty-eight stations were

processed to image 2-D tomographic dispersion maps from the period of 8 to 50 s. then, a quasi-3D shear wave velocity and radial anisotropy model were calculated by jointly inversion of the Rayleigh and Love local phase velocity dispersion curves based on the MCMC method. Our results imply the presence of intense radial anisotropy due to the dense minerals in the crust and uppermost mantle of the Zagros compressional zone. The observed radial anisotropy in Central Iran is weak relative to adjacent areas.

Keywords: Ambient noise, Crustal structure, Iran plateau, Phase velocity, Radial anisotropy, Surface wave tomography

1 مقدمه

بررسی های ناهمسانگردی شعاعی با استفاده از توموگرافی نوفه محیطی امروزه از موضوعات مورد توجه برای زلزله شناسان و زمین شناسان است. با به نقشه درآوردن ناهمسانگردی لرزه ای می توان به بررسی ارتباط بین حرکت صفحات و جریانات شاره ای-حرارتی موجود در پوسته و گوشته زمین پی برد. بنابراین درک مطلوب از وضعیت ناهمسانگردی لرزه ای، اطلاعات ارزشمندی در مورد دگرشکلی های رخ داده در گذشته و همچنین حال حاضر فراهم می کند و موجب تکمیل شدن اطلاعات موجود از تغییرات جانبی و عمقی ساختارهای سرعت لرزه ای می شود. ناهمسانگردی شعاعی حاصل از امواج سطحی معمولاً بر حسب همسانگردی عرضی با محور تقارن عمودی تفسیر می شود.

منطقه مورد مطالعه، ایران، به عنوان بخشی از زون فعال زمین ساختی آلپ-همیالیا شناخته می شود که دارای مجموعه پوسته ها، قطعات و زون های متفاوت زمین ساختی است. مهمترین مشخصه تکتونیکی ایران، توپوگرافی جوان و مرتفع آن در یک منطقه فعال لرزه خیز در راستای چین خوردگی زاگرس می باشد که حاصل برخورد قاره به قاره صفحه عربی و اوراسیا است. این برخورد باعث بوجود آمدن ساختارهای پیچیده تکتونیکی شده که سطح بالایی از فعالیت های لرزه ای را نشان می دهد.

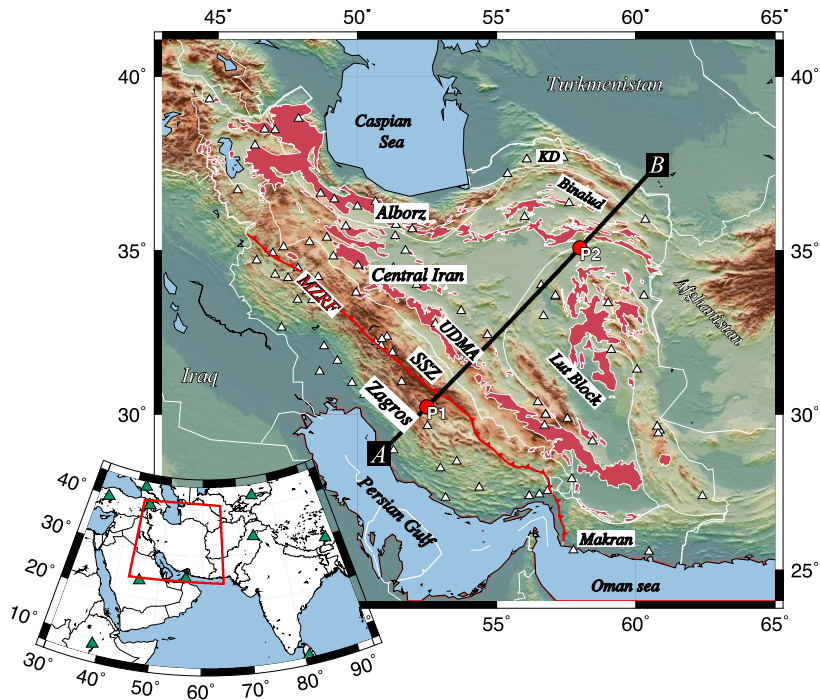
در این مطالعه با ادامه مطالعات موقری و جوان (2020) و استخراج توابع گرین امواج لاو از مولفه افقی نوفه ها، پروفیل سرعت موج برشی و ناهمسانگردی شعاعی در پوسته و گوشته بالایی فلات ایران در راستای عمود بر ساختارهای بوجود آمده از برخورد صفحه عربی و اوراسیا تا عمق 100 کیلومتر تخمین زده شده است.

2 روش تحقیق

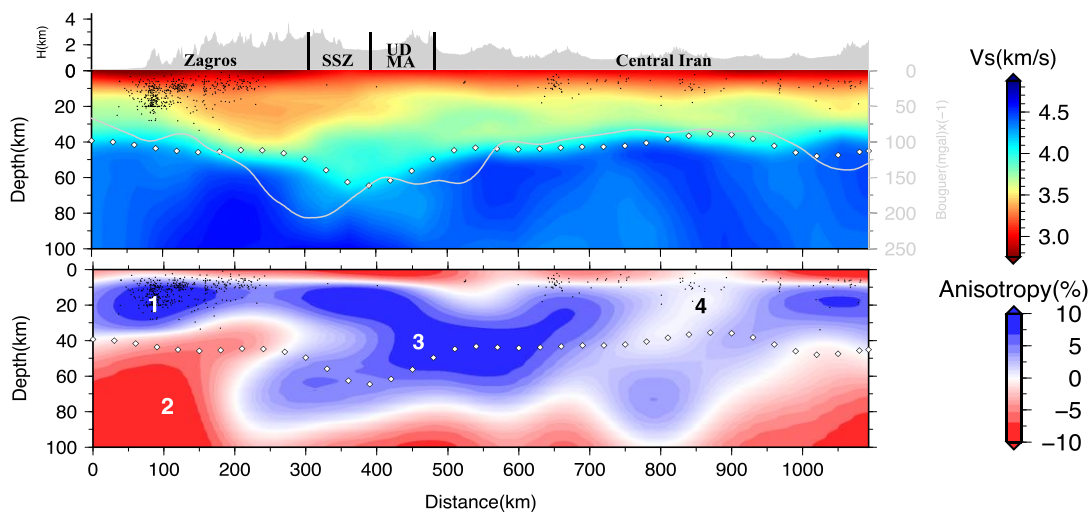
در این تحقیق، نوفه های ثبت شده به صورت پیوسته در 98 ایستگاه لرزه نگاری در ایران و اطراف آن به مدت سه سال از تاریخ ژانویه 2013 تا دسامبر 2015، جمع آوری و مورد استفاده قرار گرفته است. ایستگاه های استفاده شده شامل 25 ایستگاه لرزه نگاری باند پهن متعلق به پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله (IIIES)، 63 ایستگاه لرزه نگاری مربوط به مرکز لرزه نگاری کشوری (IRSC)، و 10 ایستگاه لرزه نگاری باند پهن متعلق به شبکه لرزه نگاری جهانی (GSN) هستند. در شکل 1 موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاههای لرزه ای نشان داده شده است. مرحله پیش پردازش داده ها در این مطالعه مطابق با مطالعه بنسن و همکاران (2007) و لین و همکاران (2007) است. داده های پیوسته سه مولفه ای پس از حذف ترند روزانه، میانگین و پاسخ دستگاهی، در محدوده فرکانسی 0.01 تا 0.2 هرتز فیلتر شدند. سپس از بهنجارسازی تک بیتی برای حذف زمینلرزه ها و اغتشاشات دستگاهی استفاده شد. در آخر، بهنجارسازی در فضای فرکانس انجام شد.

پس از مرحله پیش پردازش، همبستگی متقابل بین مولفه های شمالی-شمالی (NN)، شرقی-شرقی (EE)، شرقی-شمالی (EN) و شمالی-شرقی (NE) محاسبه و برانباشت شد. سپس با استفاده از تانسور چرخش (لین و همکاران 2008) مولفه های عرضی و شعاعی توابع همبستگی متقابل بین همه جفت ایستگاه های ممکن محاسبه شد. منحنی های پاشندگی سرعت فاز امواج ریلی و لاو با استفاده از روش طیفی توسعه یافته توسط اکستروم و همکاران (2009) محاسبه گردید. به منظور ساختن نقشه های دوبعدی سرعت فاز، از روش وارون سازی تکرار شونده و غیر خطی توموگرافی موج سطحی بر اساس ردیابی سریع (FMST رالینسون، 2005) استفاده شد. با در اختیار داشتن نقشه های پاشندگی

امواج ریلی و لاو، منحنی های پاشندگی محلی در هر گرید 0.5 درجه در 0.5 درجه استخراج شد. برای بدست آوردن مدل سرعت برشی و همچنین ناهمسانگردی شعاعی، ما منحنی های پاشندگی محلی سرعت فاز ریلی از 8 تا 60 ثانیه و لاو از 8 تا 50 ثانیه را به صورت همزمان در هر نقطه گرید جغرافیایی با استفاده از روش زنجیره ماکوف مونت کارلو (MCMC) وارون سازی کردیم.



شکل 1. توزیع مکانی ایستگاه های مورد استفاده در مطالعه حاضر. مثلث های سفید نشان دهنده ایستگاه های متعلق به شبکه IIEES و IRSC می باشند. نقشه سمت چپ پایین موقعیت منطقه مورد مطالعه به همراه توزیع مکانی ایستگاه های خارج از ایران (مثلث های سبز رنگ) را نشان می دهد.



شکل 2. مقطع عرضی سرعت موج برشی (بالا) و ناهمسانگردی شعاعی (پایین). ناهمسانگردی مثبت ($V_{sv} < V_{sh}$) با رنگ آبی و ناهمسانگردی منفی ($V_{sv} > V_{sh}$) با رنگ قرمز نشان داده شده است. موقعیت مکانی این مقطع در شکل 1 نشان داده شده است.

3 نتیجه گیری

با توجه به مقطع عرضی سرعت موج برشی (شکل 2 بالا) در طول پروفیل AB که موقعیت مکانی آن در شکل 1

نمایش داده شده است، می توان گفت سرعت های پایین (کمتر از 3 کیلومتر بر ثانیه) در زیر کمر بند زاگرس نمایانگر عمق رسوبات در این ناحیه است. در عمق های معادل پوسته میانی کمترین سرعت در محل برخورد زاگرس و SSZ وجود دارد که میتواند ناشی از ضخیم شدگی پوسته بر اثر برخورد قاره ای باشد. مقطع عرضی ناهمسانگردی شعاعی الگوهای نسبتا پیچیده ای از آنومالی های مثبت و منفی نشان می دهد (شکل 2 پایین). قوی ترین الگوی ناهمسانگردی شعاعی در این مطالعه مربوط به پوسته و گوشته بالایی در محل برخورد و زیر کمر بند زاگرس است (شکل 2، ویژگی 1و2). ناهمسانگردی شعاعی منفی (حدود کمتر از 7 درصد) در عمق های کمتر از 5 یا 10 کیلومتر در اکثر نواحی روی پروفیل ها قابل مشاهده است که می تواند تحت تاثیر خردشکستگی های به وجود آمده در طی برخورد قاره ای باشد. عمقهای پایینتر معادل عمق پوسته میانی و در برخی نقاط پوسته پایینی ناهمسانگردی مثبت از خود نشان می دهند. این آنومالی ناهمسانگردی مثبت بعد از گسل اصلی زاگرس به صورت شیبدار از عمق های پوسته پایینی (شکل 2، ویژگی 3) به عمق های بیشتر (حدود 80 کیلومتر) می رود به طوری که بیشترین عمق این آنومالی در زیر ناحیه UDMA و مرز آن با ایران مرکزی دیده می شود. ضعیفترین ناهمسانگردی شعاعی (0 تا 2 درصد) مربوط به نواحی مرکزی ایران مرکزی است که تا پوسته پایینی ادامه دارد (شکل 2، ویژگی 4).

منابع

- Bensen, G., Ritzwoller, M., Barmin, M., Levshin, A., Lin, F., Moschetti, M., Shapiro, N. & Yang, Y., 2007. Processing seismic ambient noise data to obtain reliable broad-band surface wave dispersion measurements, *Geophysical Journal International*, 169, 1239-1260.
- Ekström, G., Abers, G.A. & Webb, S.C., 2009. Determination of surface-wave phase velocities across USArray from noise and Aki's spectral formulation, *Geophysical Research Letters*, 36.
- Lin, F.-C., Moschetti, M.P. & Ritzwoller, M.H., 2008. Surface wave tomography of the western United States from ambient seismic noise: Rayleigh and Love wave phase velocity maps, *Geophysical Journal International*, 173, 281-298.
- Movaghari, R. & Doloei, G.J., 2020. 3-D crustal structure of the Iran plateau using phase velocity ambient noise tomography, *Geophysical Journal International*, 220, 1555-1568.
- Rawlinson, N., 2005. FMST: Fast Marching Surface Tomography package—Instructions, *Research School of Earth Sciences, Australian National University, Canberra*.
- Shad Manaman, N., Shomali, H. & Koyi, H., 2011. New constraints on upper-mantle S-velocity structure and crustal thickness of the Iranian plateau using partitioned waveform inversion, *Geophysical Journal International*, 184, 247-267.