

بررسی ساختار گوشته بالائی از سنندج تا سیرجان به کمک امواج دورلرز

شهیره جوادی^۱، محمدرضا قیطانچی^۲، فتانہ تقی‌زاده فرهمند^۳

^۱دانشجوی دکتری، گروه ژئوفیزیک، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، shj.javadi@gmail.com

آستاذ، گروه ژئوفیزیک، واحد تهران شمال، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، mrghechee@ut.ac.ir

^۳دانشیار، گروه فیزیک، واحد قم، دانشگاه آزاد اسلامی، قم، ایران، f_farahmand@qom-iau.ac.ir

چکیده

در مطالعه حاضر ضخامت ناپیوستگی‌های گوشته بالائی در بخش‌های از مناطق لرزه زمینساختی ایران مرکزی در منطقه‌ای از سنندج تا سیرجان، بررسی شد. جهت این مطالعه از تحلیل تابع گیرنده P استفاده گردید. داده‌های ۶۰۰ زمین‌لرزه دورلرز ثبت شده توسط ۱۵ ایستگاه ایستگاه کوتاه دوره و ۵ ایستگاه باندپهن واقع در ایران مرکزی از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۱ میلادی با بزرگای $M_b \geq 5/5$ و در فاصله رومرکزی $30^\circ < \Delta < 95^\circ$ مورد پردازش قرار گرفت. در ایران مرکزی اعماق تعادل ناپیوستگی‌های منطقه انتقالی نسبت به مدل مرجع انحراف را نشان می‌دهند که می‌تواند ناشی از حرکت همگرایی صفحه عربستان با صفحه ایران مرکزی باشد.

واژه‌های کلیدی: توابع گیرنده، دورلرز، گوشته بالائی، ناپیوستگی، ایران مرکزی

Investigation of upper mantle structure from Sanandaj to Sirjan using teleseismic waves

Shahireh Javadi¹, Mohammad Reza Gheitanchi², Fataneh Taghizadeh-Farahmand³

¹Ph.D. Student, Geophysics Department, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

²Professor, Geophysics Department, North Tehran Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

³Associate Professor, Physics Department, Qom Branch, Islamic Azad University, Qom, Iran.

Abstract

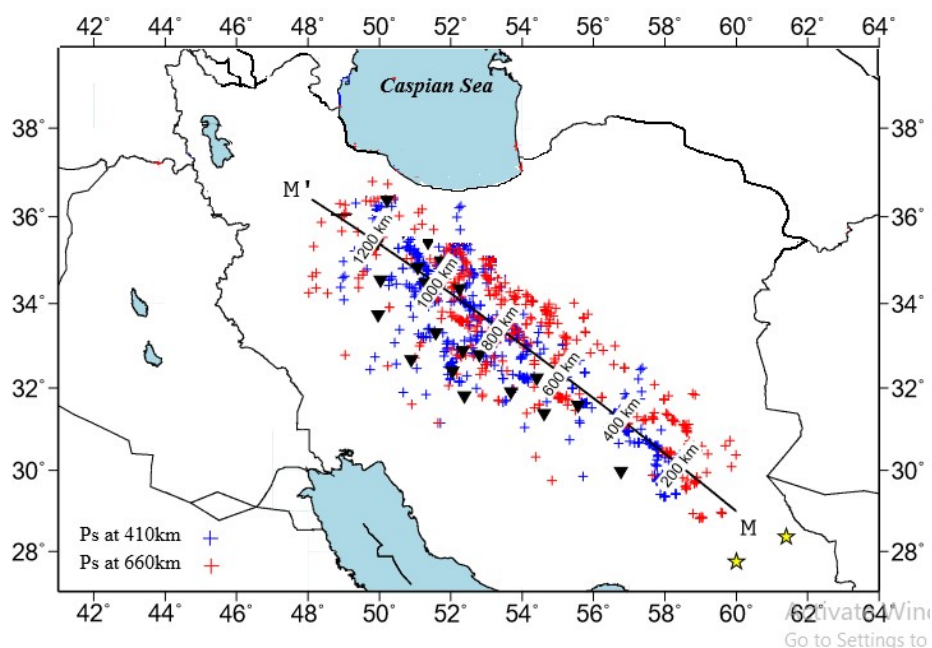
RF method is now a well-known tool for studying crustal and upper mantle structure when such a complete data set is available. We compute P receiver functions to investigate the upper mantle discontinuity beneath the Central Iran. We selected data from teleseismic events ($M_b \geq 5.5$, $30^\circ < \Delta < 95^\circ$) recorded since 2004 to 2011 at 15 three component short period stations from Yazd, Isfahan and Tehran Telemetry Seismic Network and 5 three component broadband stations (KRBR, NASN, KHMZ, GHVR and ASAO) with high signal-to-noise ratio. In Central Iran, the depth of the equivalent of discontinuities in the transition zone is shown by the reference model of deviation, which can be attributed to the convergence of the Arabian plate with the Central Iranian plate.

Keywords: P Receiver Functions, Teleseismic, Upper Mantle, Transition zone.

۱ مقدمه

منطقه مورد مطالعه در ایران مرکزی در موقعیت ۴۷ تا ۵۸ درجه طول شرقی و ۲۹ تا ۳۶ درجه عرض شمالی را در برمی‌گیرد (شکل ۱). منطقه انتقالی گوشته، گوشته بالائی و گوشته پائینی را از هم جدا می‌کند و بین دو ناپیوستگی لرزه‌ای ۴۱۰ کیلومتری و ۶۶۰ کیلومتری محدود شده است. وجود ناپیوستگی‌های لرزه‌ای ۴۱۰ و ۶۶۰ کیلومتری بیانگر تغییر شکل‌های فازی به دلیل افزایش فشار می‌باشند. اعماق تعادل ناپیوستگی‌ها به شرایط فشار و دما گوشته در آن محیط بستگی دارد. برای یک سیستم که در آن تغییر فاز تابعی از دما و فشار می‌باشد، تعادل توسط معادله شناخته شده ترمودینامیکی کلاپیرون تعریف می‌گردد. در معادله کلاپیرون شیب کلاپیرون برای ناپیوستگی ۴۱۰ کیلومتری مثبت و برای ناپیوستگی ۶۶۰ کیلومتری منفی می‌باشد. اگر تغییرات دمائی در منطقه رخ دهد عمق تعادل در ناپیوستگی‌ها تغییر خواهد کرد و ضخامت منطقه انتقالی گوشته افزایش یا کاهش می‌یابد. با تبدیل کردن تغییر فشار به عمق، جایجائی قائم محاسبه می‌گردد (برای مطالعه بیشتر به

تقی‌زاده فرهمند و همکاران، ۲۰۱۲ رجوع گردد). بنابراین مطالعه‌ی عمق این ناپیوستگی‌ها درک روشن‌تری از تفاوت دمایی و سرعتی در گوشته‌ی بالائی نسبت به مدل جهانی در این ناحیه به ما خواهد داد. بیش از دو دهه می‌باشد که روش تابع گیرنده برای بررسی ساختار زمین و به تصویر کشیدن ناپیوستگی‌های پوسته و گوشته بالائی مورد استفاده قرار می‌گیرد. تحلیل تابع گیرنده P توسط افراد متعدد بهبود بخشیده شد و برای مطالعه گوشته بالائی نیز به‌کار گرفته شد (اونز و همکاران، ۱۹۸۴؛ وینیک و کسارو، ۱۹۸۱؛ کیند و وینیک، ۱۹۸۸). این روش برای مطالعه پوسته ایران مرکزی توسط افراد متعددی با داده‌های مختلف مورد بررسی قرار گرفته است ولی منطقه انتقالی گوشته بالائی در ایران مرکزی تنها توسط راکی و کاپویانی (۱۳۸۹) مطالعه شده است. در این پژوهش علاوه بر مطالعه ناپیوستگی موهو دو ناپیوستگی گوشته بالایی در خط‌برداشتی از سنندج تا سیرجان به کمک تحلیل تابع گیرنده P مورد مطالعه قرار می‌گیرد. شده است.



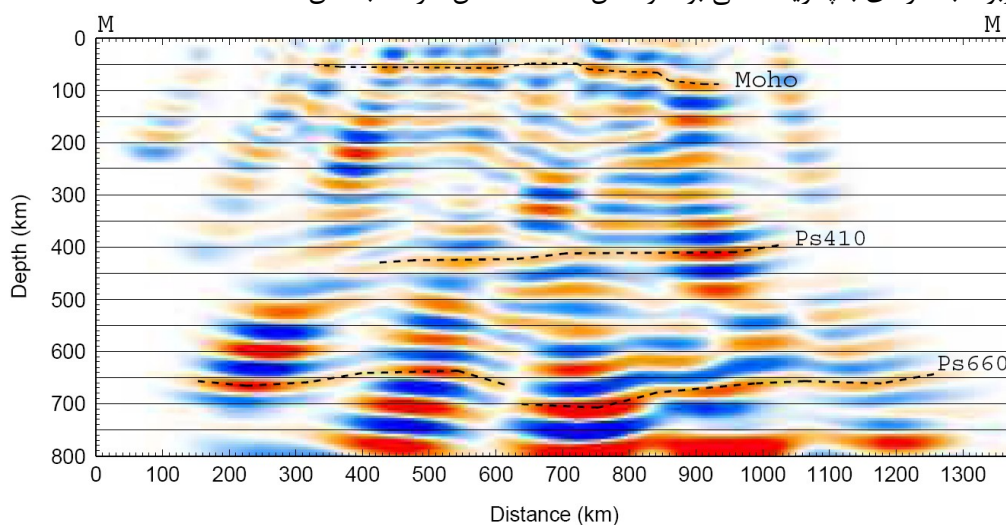
شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه و ایستگاه‌های لرزه‌نگاری (مثلث مشکی توپر وارونه). راستای خط‌برداشت مقطعی عرضی MM' . نقاط تبدیل با بعلاوه قرمز و آبی رنگ نمایش داده شده است.

۲ داده و روش تحقیق

تحلیل تابع گیرنده P امواج دورلرز روش مفیدی برای مطالعه ناپیوستگی‌های سرعتی گوشته بالائی در زیر ایستگاه‌های لرزه‌ای می‌باشد (وینیک، ۱۹۷۷). برای محاسبه تابع گیرنده باید پردازش‌های روی داده‌ها صورت گیرد، ۱- حذف پاسخ دستگامی در صورت تفاوت لرزه‌سنج‌ها ۲- چرخش حول زاویه سمت وارون و زاویه تابش موج فرودی به زیر ایستگاه تاسیستم ZNE به سیستم مختصات محلی پرتو LQT تبدیل گردند. ۳- واهمامیخت مؤلفه با سیگنال P روی مؤلفه L به منظور حذف اثرات چشمه و مسیر انتشار. نتیجه بدست آمده روی مؤلفه Q، تابع گیرنده P نامیده می‌شود (یوان، ۱۹۹۹). با استفاده از اختلاف زمان رسید فازهای تبدیلی Ps از ناپیوستگی‌های موهو و گوشته بالائی نسبت به رسید مستقیم P در روش تابع گیرنده P می‌توان عمق ناپیوستگی‌ها را محاسبه نمود. برای این مطالعه، از حدود ۶۰۰ زمین‌لرزه‌های دورلرز که از سال ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۱ میلادی توسط ۱۵ ایستگاه سه مؤلفه‌ای کوتاه دوره شبکه‌های لرزه‌نگاری یزد و اصفهان و تهران مؤسسه ژئوفیزیک وابسته به دانشگاه تهران و ۵ ایستگاه لرزه‌نگاری باندپهن (کرمان، قم، نائین، خمین و آشتیان) وابسته به پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله در فاصله رومرکزی 30° تا 95° و با بزرگای بیش از $5/5$ در مقیاس امواج حجمی استفاده شد. موقعیت ایستگاه‌ها با مثلث مشکی توپر وارونه در منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ نمایش داده شده است.

۳ مشاهددها

ابتدا داده‌هایی با نسبت سیگنال به نوفه بالاتر از ۴ انتخاب شد. عمل چرخش و واهمامیخت روی داده‌ها انجام گرفت. فیلتر پائین‌گذر ۵ ثانیه بر روی توابع گیرنده P محاسبه شده در کلیه ایستگاه‌ها به کار گرفته شد. با مقایسه اختلاف زمان رسید بین فازهای تبدیلی از دو ناپیوستگی ۴۱۰ و ۶۶۰ کیلومتری در گوشته با مدل متوسط جهانی IASP91 (۲۴ ثانیه برای فاصله مرجع °۶۷)، تغییرات احتمالی دمائی در آن محیط از گوشته بررسی شد. با تهیه مقطع دو بعدی عمق-مسافت (شکل ۲)، ناپیوستگی‌های موهو و گوشته بالائی به طور آشکار در توابع گیرنده محاسبه شده، دیده شدند. شکل ۲ مقطع دو بعدی مسافت-عمق را در پهنا ایران مرکزی در امتداد خط برداشت MM' (شکل ۱) نشان می‌دهد. این مقطع با استفاده از تبدیل تأخیر زمان های رسید فاز تبدیلی Ps نسبت به رسید موج مستقیم P از ناپیوستگی‌ها به عمق بدست آمد. در هر شکل قسمت‌های قرمز رنگ مربوط به فازهای با پلاریته مثبت در توابع گیرنده می‌باشند که نشان دهنده افزایش سرعت با عمق است و قسمت‌های آبی رنگ مربوط به فازهای با پلاریته منفی بوده و نشان دهنده کاهش سرعت با عمق هستند.



شکل ۴) مقطع دو بعدی مسافت-عمق توابع گیرنده مهاجرت داده شده برای ایران مرکزی و نوار آتشفشانی ارومیه-دختر و سنندج-سیرجان در امتداد پروفیل شمال غربی-جنوب شرقی، MM'.

با توجه به شکل ۴ عمق موهو تقریباً حدود ۵۰ کیلومتر است و در انتهای خط برداشت در حوالی منطقه سنندج-سیرجان به حدود ۷۰ کیلومتر افزایش می‌یابد که با نتایج به دست آمده برای تغییرات ضخامت پوسته در این مناطق (پائول و همکاران، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۰؛ افسری و همکاران، ۲۰۱۱؛ صدودی و همکاران، ۲۰۰۹؛ تقی زاده فرهمند و همکاران، ۲۰۱۵) همخوانی قابل قبولی دارد. ناپیوستگی‌های منطقه انتقالی نسبت به مدل مرجع انحراف را نشان می‌دهند که می‌تواند به دلیل تغییرات سرعت‌های امواج حجمی در آن منطقه باشد. این تغییرات سرعت می‌تواند مبین بی‌هنجاری دمائی در منطقه انتقالی گوشته باشد. انحراف در ناپیوستگی در عمق ۶۶۰ کیلومتری مشهودتر می‌باشد چنانچه تغییر عمق تعادل در این مرز در قسمت میانی خط برداشت معادل حدود °C ۴۰ کاهش دما را نشان می‌دهد. مطابق با مطالعات مولینارو و همکاران (۲۰۰۵) و همچنین شادمنان و همکاران (۲۰۱۰)، شمالی و همکاران (۲۰۱۱) بالا آمدن مواد سست کره از گوشته کم عمق ناشی از شکسته شدن صفحه فرورونده عربستان و فرورفتن آن به داخل گوشته را می‌توان موجب نازک‌شدگی سنگ کره در زیر شمالی‌ترین قسمت نوار آتشفشانی ارومیه-دختر و ایران مرکزی دانست که می‌تواند موجب ایجاد بی‌هنجاری دمائی در منطقه انتقالی نسبت به مناطق مجاورش در آن عمق دانست که همچنین می‌تواند دلیلی بر پایدار بودن صفحه ایران مرکزی باشد. افزایش ضخامت منطقه انتقالی نسبت به مدل مرجع ناشی از افزایش سرعت می‌تواند بیانگر بی‌هنجاری دمائی منفی در منطقه انتقالی نسبت به محیط اطراف باشد که از تبعات همگرایی صفحه عربستان و ایران مرکزی است و همچنین تأییدی بر مطالعات قبلی (شمالی و همکاران، ۲۰۱۱؛ شادمنان و همکاران، ۲۰۱۰ و راکی و کاویانی، ۱۳۸۹) در این منطقه است. مطالعات ما وجود یک ضخیم‌شدگی در این منطقه را نشان می‌دهد. راکی و کاویانی (۱۳۸۹) این ضخیم‌شدگی را ناشی از بقای اقیانوس نئوتتیس می‌دانند که با ایجاد یک سپر حرارتی مانع انتقال حرارت به لایه‌های بالایی زمین شده و موجب گرادیان غیرنرمال تغییرات سرعت

گردیده است. مطالعات توموگرافی علینقی و همکاران (۲۰۰۷) و توکسوز و همکاران (۲۰۱۰) در مرز ۶۶۰ کیلومتری منطقه انتقالی افزایش بالای سرعت را نشان می‌دهند، همچنین در مجاورت آتشفشان بزمان (ابتدای خط برداشت MM) در ناپیوستگی ۴۱۰ کیلومتری نیز افزایش سرعت را نشان می‌دهند که در مقطع دو بعدی عمق-مسافت در شکل ۸ نیز در جنوب شرق خط برداشت کاهش عمق تعادل در ناپیوستگی مشاهده می‌شود.

۳ نتیجه‌گیری

در ایران مرکزی اعماق تعادل ناپیوستگی‌های منطقه انتقالی نسبت به مدل مرجع انحراف را نشان می‌دهند که این انحراف در ناپیوستگی ۶۶۰ کیلومتری مشهودتر می‌باشد. در حوالی و زیر آتشفشان بزمان با کاهش ضخامت منطقه انتقالی و در بقیه مناطق با افزایش ضخامت منطقه انتقالی مواجه هستیم که می‌تواند ناشی از حرکت همگرایی صفحه عربستان با صفحه ایران مرکزی باشد.

منابع

راکی، م. و کاویانی، ا.، ۱۳۸۹، بررسی ساختار گوشته‌ی فوقانی در زیر زاگرس و ایران مرکزی با استفاده از روش تحلیل توابع گیرنده‌ی امواج حجمی P: شواهدی بر جدایش ورقه‌ی اقیانوسی فرورانده شده، چهاردهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران، مؤسسه ژئوفیزیک، تهران.

- Afsari, N., Sodoudi, F., Taghizadeh-Farahmand, F. and Ghassemi, M. R., 2011, Crustal structure of Northwest Zagros (Kermanshah) and Central Iran (Yazd and Isfahan) using teleseismic Ps converted phases, *J. Seismology*, 15:341–353, DOI 10.1007/s10950-011-9227-x.
- Alinaghi, A., Koulakov, I., and Thybo, H., 2007, Seismic tomographic imaging of P and S waves velocity perturbations in the upper mantle beneath Iran, *Geophysical Journal International*, 169(3), 1089-1102.
- Kind, R. and Vinnik, L. P., 1988, The upper mantle discontinuities underneath the GRF array from P-to-S from converted phases, *J. Geophys.*, 62, 138-147.
- Molinaro, M., Zeyen, H., Laurencin, X., 2005, Lithospheric structure beneath the southeastern Zagros Mountains, Iran: recent slab break-off?. *TerraNova* 17,1-6.
- Owens, T. J., Zandt, G. and Taylor, S. R., 1984, Seismic evidence for an acient rift beneath the Cumberland Plateau, Tennessee: A detaild analysis of broadband teleseismic P waveform, *J. Geophys. Res.*, 89, 7783-7795.
- Paul, A., Kaviani, A., Hatzfeld, D., Vegne, J. and Mokhtari, M., 2006, Seismological evidence for crustal- scale thrusting in the Zagros mountain belt (Iran), *Geophys J. Int.*, 166:227–237, doi:10.1111/j.1365-24x.2006.02920.x.
- Paul, A., Hatzfeld, D., Kaviani, A., Tatar, M. and Pequegnat, C., 2010, Seismic imaging of the lithospheric structure of the Zagros mountain belt (Iran). *Geol Soc London Special Publications*, 330, 5-18.
- Shad Manaman, N., Shomali, H., and Koyi, H., 2010, Upper mantle S-velocity structure and Moho depth variations across Zagros belt, Arabian–Eurasian plate boundary, *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 180, 92–103.
- Shomali, Z. H., Keshvari, F., Hassanzadeh, J., and Mirzaei, N., 2011, thospheric structure beneath the Zagros collision zone resolved by non-linear teleseismic tomography, *Geophys. J. Int.*, 187, 394-406.
- Sodoudi, F., Yuan, X., Kind, R., Heit, B. and Sadidkhouy, A., 2009, Evidence for a missing crustal root and a thin lithosphere beneath the Central Alborz by receiver function studies, *Geophys J. Int.*, 177(2):733–742.
- Taghizadeh-Farahmand, F., Sodoudi, F., and Afsari, N., 2012, Seismic study of upper mantle beneath the NW Iran using P receiver function, *Journal of the Earth & Space Physics*. Vol. 38, No. 2, P. 17-28
- Taghizadeh-Farahmand, F., Afsari, N., and Sodoudi, F., Crustal thickness of Iran inferred from converted waves, 2015, *Pure and Applied Geophysics journal*, Vol 171, No 7, DOI 10.1007/s00024-014-0901-0.
- Toksöz, M. N., Van der Hilst, R. D., Sun, Y., and Zhang, H., 2010, Seismic tomography of the Arabian-Eurasian collision zone and surrounding areas, AIR FORCE RESEARCH LABORATORY, Space Vehicles Directorate 29 Randolph Rd, AIR FORCE MATERIEL COMMAND HANSCOM AFB, MA 01731-3010.
- Vinnik, L.P., 1977, Detection of waves converted from P to Sv in the mantle, *Phys. Earth planet. Intre.*, 15, 39-45.
- Vinnik, L. P., and Kosarev, G. L., 1981, Determination of crustal parameters from observations of teleseismic body waves, *Proc. Acad. Sci. USSR*, 261, 1091-1095.
- Yuan, X., 1999, Telesismic receiver function study and its application in Tibet and the central Andes, FU Berlin, PhD thesis, 149p.