تغییرات عمق موهو و نسبت Vp/Vs در شمال زون لرزه زمین ساختی زاگرس با استفاده از روش اصلاح شده ژو و کاناموری

غزاله شیرانزایی [1]، افسانه نصرآبادی [2]، محمدرضا سپهوند [3]

[1] دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده علوم و فناوری های نوین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان
ghazaleh.sh69@gmail.com
[2] استادیار، دانشکده علوم و فناوری های نوین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان a.nasrabadi@kgut.ac.ir
[3] استادیار، دانشکده علوم و فناوری های نوین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته کرمان mrsepahvand@yahoo.com

چکیده

در این پژوهش، با استفاده از رخدادهای دورلرز 10 ایستگاه لرزه نگاری باند پهن دائم شبکه لرزه نگاری کشوری (ISC) در بازه‌ی زمانی حدود سه سال (1393 تا 1396)، نقشه تغییرات عمق موهو و نسبت سرعت موج طولی به موج برشی در مرز موهو در قسمت شمالی زون زاگرس با استفاده ازروش اصلاح شده ژو وکاناموری و استفاده از فازهای تبدیلی و چندگانه ها محاسبه شده است. جهت تعیین توابع گیرنده از روش تکرار واهمامیخت در حوزه زمان و دور لرزهایی با بزرگای بیش از 5 استفاده گردید. نتایج مطالعه انجام شده نشان می‌دهد ضخامت پوسته در نزدیکی فلات ایران و در لبه‌ی ورقه‌ی عربی حدود 35 تا 40 کیلومتر است و بر روی زون سنندج-سیرجان تا حدود 53 کیلومتر افزایش می‌یابد.

واژه‌های کلیدی: عمق موهو، تابع گیرنده، نسبت Vp/Vs، زاگرس.

Moho depth variations and Vp/Vs ratio in North Zagros seismotectonic zone using Zhu and Kanamori modified method

G. Shiranzaei [1], A. Nasrabadi [2], M. Sepahvand [3]

[1] *M.Sc, Geophysics, Faculty of Sciences and Modern Technologies, University of Advanced Technology, Kerman, Iran*

[2] *Assistant Professor, Faculty of Sciences and Modern Technologies, University of Advanced Technology, Kerman, Iran*

[3] *Assistant Professor, Faculty of Sciences and Modern Technologies, University of Advanced Technology, Kerman, Iran*

Abstract

In this study, using teleseismic events recorded at 10 national permanent broadband seismic stations (ISC), from 2014 to 2017, the map of Moho depth changes and the ratio of the longitudinal wave to shear wave velocity (Vp/Vs) at the Moho boundary in the northern part of the Zagros zone is calculated using the Zhou and Kanamori methods. To calculate the receiver functions, the iterative deconvolution in the time domain of Ligorria and Ammon was used and the teleseismic events with an epicentral distance of 25 to 90 degrees with magnitude larger than 5 were used. The results show the crust thickness near the Iranian plateau and in the Arabian plate edge is about 35 - 40 km and increases to 53 km beneath Sanandaj-Sirjan Zone.

Key words: Moho depth, Receiver function, Vp/Vs ratio, Zagros.

مقدمه

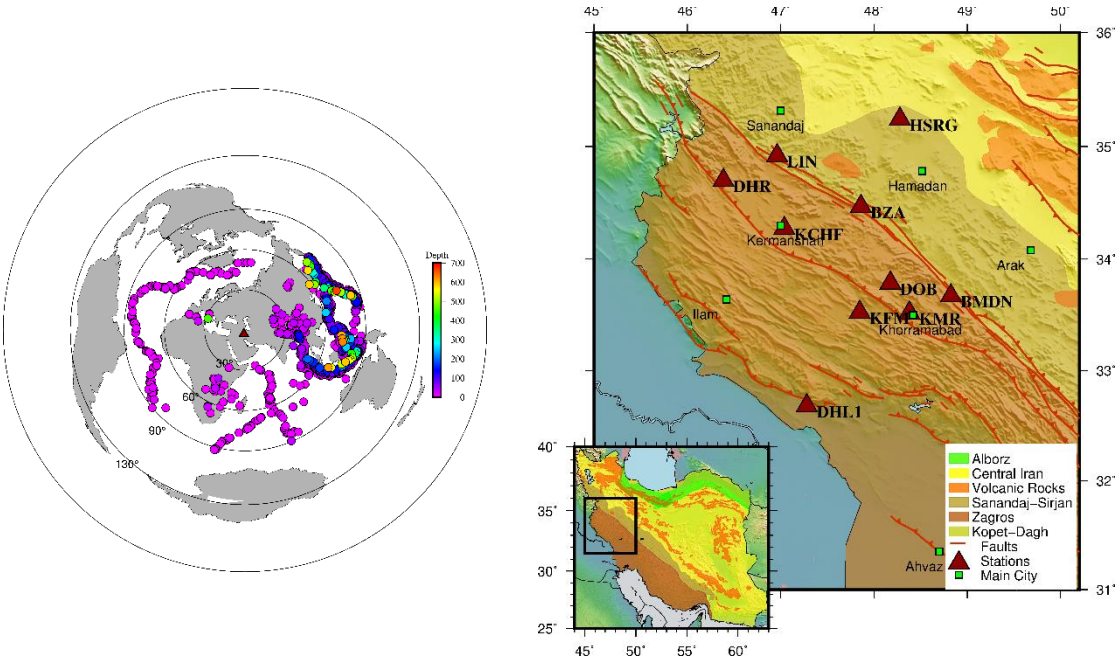
زاگرس یکی از ایالت‌های لرزه‌زمین‌ساختی ایران است که به عنوان بخشی از کمربند کوهزایی آلپ-هیمالیا همواره لرزه‌خیزی بالایی دارد و به طور تقریبی بیش از نیمی از لرزه‌خیزی ایران را دربردارد. روند شمال‌غربی-جنوب‌شرقی کمربند چین‌خورده رانده‌ی زاگرس با حدود 1800 کیلومتر طول و 300 کیلومتر پهنا از گسله‌ی شرق آناتولی در ترکیه تا تنگه‌ی هرمز در ایران ادامه دارد (اشتوکلین، 1968). نرخ کوتاهشدگی امروزی در زاگرس بر پایه‌ی اندازه‌گیری‌های GPS به طور متوسط 7 میلی‌متر بر سال برآورد شده است (ورنانت و همکاران، 2004). کل کوتاه‌شدگی در زاگرس 50 کیلومتر (مولینارو و همکاران، 2005) تا 85 کیلومتر (طالبیان و جکسون، 2004) برآورد شده است. این کوتاه‌شدگی به صورت گسلش معکوس پی‌سنگی و چین‌خوردگی فعال رسوبات سطحی روی می‌دهد (بربریان، 1994). زمین‌لرزه‌ی 21 آبان 96 اولین رخداد با بزرگای بیش از 7 در گسله‌ی پیشانی کوهستان زاگرس و در کرمانشاه است. رخدادهایی با این بازه‌ی بزرگا خسارت‌های جانی و مالی بسیاری را در پی دارند. به ویژه در منطقه‌ای چون ایران که ژرفای رخدادها کم است. به همین دلیل مطالعه زلزله‌شناسی این منطقه بیش از پیش حائز اهمیت است. بنابراین آگاهی از ساختار پوسته و شناخت مرزهای ناپیوستگی لرزه‌زای آن، اهمیت بالایی در علم زلزله‌شناسی دارد. به دنبال این هدف این پژوهش از توابع گیرنده که یکی از روش‌های شناخت ساختار پوسته و مرزهای ناپیوستگی است، استفاده شده و با استفاده از روش ژو و کاناموری (2000) به طور همزمان ضخامت موهو و نرخ Vp/Vs محاسبه شده است. در نهایت پس از بررسی داده‌های زمین‌لرزه‌ای نقشه تغییرات عمق موهو و نسبت Vp/Vs برای 10 ایستگاه لرزه‌نگاری در بخش شمال‌غربی زاگرس در منطقه کرمانشاه به دست آورده شده است. مطالعات زلزله‌شناسی قبلی در زاگرس یک پوسته نازک با ضخامت ۴۰ الی ۴۵ کیلومتری برای این زون لرزه‌زمین‌ساختی بدست آورده‌اند و با نزدیک شدن به زون لرزه‌زمین ساختی سنندج-سیرجان ضخامت افزایش می‌یابد (پاول و همکاران ۲۰۱۰، افسری و همکاران ۲۰۱۱، تقی‌زاده‌فرهمند و همکاران 2014، کریمی‌زاده و همکاران 1396).

روش تحقیق

تابع گیرنده، بخشی از یک سری زمانی است که با حذف اثرات انتشار موج درون گوشته، چشمه‌ی زلزله و لرزه‌نگار از شکل موج نهایی لرزه‌نگاشت سه‌مولفه‌ای به‌دست می‌آید که در آن تنها اثر ساختار زمین در نزدیکی گیرنده وجود دارد. به‌طور کلی، این تابع ارائه‌کننده‌ی پاسخ نسبی ساختار زمین در مجاورت محل ایستگاه ثبت کننده است. اساس و پایه‌ی روش تحلیل توابع گیرنده‌ی P این است که وقتی موج P از میان گوشته‌ی بالایی و پوسته عبور می‌کند، در برخورد با ناپیوستگی‌های سرعتی موجود در زیر ایستگاه به امواج P عبوری و بازتابی و Sv عبوری و بازتابی تبدیل می‌شود. به دنبال این فاز تبدیلی (Ps)، فازهای چندگانه دیگر که با نام فازهای تکراری PpPs و PpSs (SsSp و SsPp) شناخته می‌شوند نیز بر روی لرزه‌نگاشت ثبت می‌شوند. در این مطالعه از روشی که توسط ژو و کاناموری (2000) ارائه و توسط ایتون و همکاران (2006) تغییراتی در آن داده شده است جهت محاسبه عمق و نسبت V_P/V_S میانگین برای پوسته استفاده شده است. ایتون و همکاران (2006) الگوریتم برانبارشی ای را پیشنهاد کردند که دامنه‌های توابع گیرنده را در زمانهای رسید پیش‌بینی شده این فازهای تبدیلی با ضخامتهای پوسته‌ای H و نسبت V_P/V_S مختلف برانبارش می‌کند. این روش، توابع گیرنده حوزه زمان را مستقیماً بدون نیاز به اینکه این فازها، یا زمان رسیدهای آنها، مشخص شود، به حوزه H-V_P/V_S تبدیل می‌کند. بهترین تخمین از ضخامت پوسته و نسبت V_P/V_S زمانی پیدا می‌شود که این سه فاز به طور همدوس با هم برانبارش شوند. در موقعیتهای واقعی بدلیل وجود نوفه در داده‌ها، مشخص کردن فاز Ps موهو و تکراریها و اندازه‌گیری زمانهای رسید آنها بر روی نگاشت مشکل می‌باشد. لذا جهت افزایش نسبت سیگنال به نوفه قبل از برانبارش به روش ژو و کاناموری، توابع گیرنده رویدادهای نزدیک (رویدادهایی با اختلاف بک آزیموت و فاصله رومرکزی 10 درجه) دسته بندی و همانند عملیات برانبارش در پردازش داده‌های لرزه‌ای بازتابی برانبارش گردیدند تا در نهایت از هر مجموعه یک تابع گیرنده با کیفیت بهتر به‌دست آید. چنین برانبارشی معمولاً برای یک مجموعه رویداد نزدیک به هم در حوزه زمان انجام می‌گردد (اونز و همکاران، 1984).

در این پژوهش از لرزه‌نگاشت‌های ثبت شده در 10 ایستگاه دائم لرزه‌نگاری باند پهن متعلق به موسسه ژئوفیزیک دانشگاه

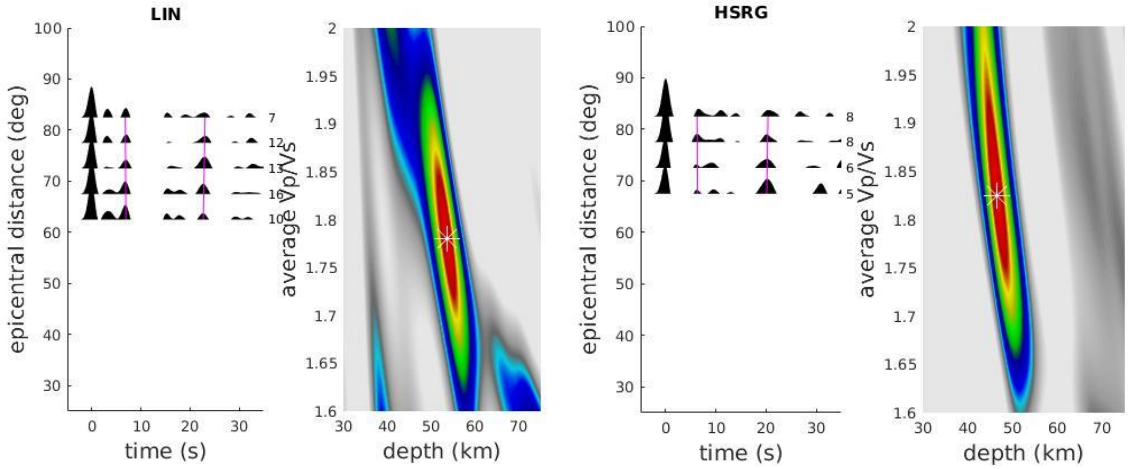
تهران، که در قسمت شمالی زاگرس (منطقه کرمانشاه و حوالی آن) قرار دارند، در بازه زمانی اردیبهشت ۱۳۹۳ الی تیر ماه ۱۳۹۶ استفاده شده است. رخدادهای مورد نظر دارای بزرگای بیشتر از ۵ بوده و فاصله رومرکزی آنها از ۲۵ الی ۹۰ درجه است (شکل ۱). ابتدا برای همه ایستگاه‌ها با استفاده از روش واهماهیخت تکراری در حوزه زمان (لیگوریا و آمون، 1999) توابع گیرنده شعاعی و مماسی محاسبه شده است. سپس با استفاده از روش اصلاح شده ژو و کاناموری (2000) از تباین سرعتی مرز بین پوسته و گوشته جهت تخمین عمق مرز موهو و محاسبه نسبت Vp/Vs برای هر ایستگاه استفاده شده است.



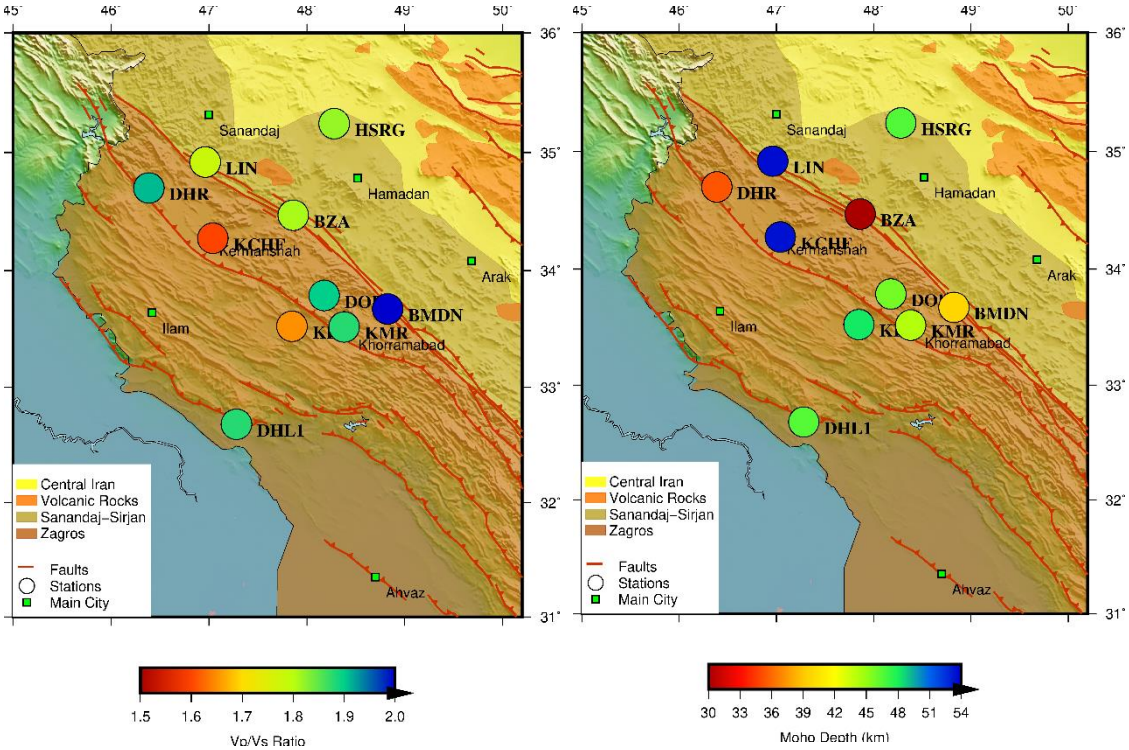
شکل 1: موقعیت ایستگاه‌های لرزه‌نگاری (مثلث‌های قرمز) در منطقه‌ی مورد مطالعه (سمت راست)، خطوط قرمز رنگ بیان‌گر گسله‌های موجود در منطقه است. زون‌های لرزه‌زمین‌ساختی با رنگ‌هایی متفاوت در شکل مشخص شده‌اند. توزیع رومرکز زمین‌لرزه‌های مورد بررسی قرار گرفته در این پژوهش (سمت چپ). رنگ هر دایره مبین عمق هر رخداد است.

بحث و نتیجه‌گیری

برای تمامی ایستگاه‌ها توابع گیرنده محاسبه شده است. بعد از آن با استفاده از روش ژو و کاناموری ضخامت موهو و نسبت Vp/Vs در هر ایستگاه حساب گردیده است. در شکل ۲، نتایج بدست آمده برای دو ایستگاه HSRG و LIN مشاهده می‌شود. همانطور در شکل۳ مشاهده می‌شود عمق موهو در ایستگاه HSRG، در حدود ۴۶ کیلومتر و برای ایستگاه LIN در حدود ۵۴ کیلومتر، در ایستگاه BMDN حدود 40 کیلومتر، در ایستگاه DOB حدود 45 کیلومتر، در ایستگاه KMR حدود 44 کیلومتر، در ایستگاه KFM حدود 48 کیلومتر، در ایستگاه KCHF حدود 53 کیلومتر، در ایستگاه DHR حدود 35 کیلومتر و در ایستگاه DHL1 حدود 46 کیلومتر بدست آمده است. یکی از مشکلات روش ژو و کاناموری این است که در حضور نوفه‌های لرزه‌ای در لرزه‌نگاشت ثبت شده، به ازای ضخامت و نسبت Vp/Vs اشتباه بیشینه می‌شود. این مشکل در نتایج بدست آمده در ایستگاه BZA به طور واضح نشان داده می‌شود. در این ایستگاه ضخامت پوسته حدود ۳۰ کیلومتر محاسبه شده است که با ایستگاه‌های مجاور همخوانی ندارد. به طور کلی ایستگاههایی که بر روی زون زاگرس قرار دارند عمق موهوی متوسطی برابر ۴۴ کیلومتر دارند. ایستگاه‌هایی که بر روی زون سنندج-سیرجان و یا نزدیک به پهنه ماگمایی ارومیه دختر هستند عمق موهوی متوسط ۵۰ کیلومتر را نشان می‌دهند. روراندگی پوسته ایران مرکزی به روی سپر قاره ای عربستان در امتداد گسل اصلی معکوس زاگرس موجب ضخیم شدگی پوسته در زیر زون سنندج-سیرجان شده است. همچنین ضخامت پوسته در قسمت شمالی منطقه مورد مطالعه بیشتر از قسمت جنوب و جنوب‌غربی منطقه مشاهده شده است. کریمی‌زاده و همکاران (1396) با مطالعه توابع گیرنده P در شمال‌غرب زاگرس متوسط عمق موهو را ۴۴ کیلومتر بدست آوردند که از ۳۶ کیلومتر تا ۵۵ کیلومتر تغییر می‌کند.



شکل ۲. پاسخ بدست آمده برای عمق موهو و نسبت Vp/Vs در دو ایستگاه HSRG و LIN.



شکل ۳. نقشه بیان‌گر تغییرات پاسخ بدست آمده برای عمق موهو (سمت راست) و نسبت Vp/Vs (سمت چپ) در منطقه مورد مطالعه.

منابع

کریمی‌زاده، س.، افسری، ن. و تقی‌زاده‌فرهمند، ف.، ۱۳۹۶. تصویر لرزه‌ای ساختار پوسته شمال غرب زاگرس (کرمانشاه و خرم‌آباد) با استفاده از امواج دورلرز. نشریه پژوهش‌های ژئوفیزیک کاربردی. دوره۳، شماره۲، صفحات ۲۲۷-۲۱۷.

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.

Berberian M., 1994. Master “blind” thrust faults hidden under the Zagros folds: Active basement tectonics and surface morphotectonics, Tectonophysics, 241, 193-224.

Ligorria, J.P., and C.J. Ammon., 1999. Iterative deconvolution of teleseismic seismograms and receiver function estimation, Bull. Seism. Soc. Am., 89, 1395-1400.

Molinaro, etal., (2005). The structure and kinematics of the southeastern Zagros fold-thrust belt, Iran: From thin-skinned to thick-skinned tectonics. Tectonics, 24(3).

Paul, A., Hatzfeld, D., Kaviani, A., Tatar, M. and Péquegnat, C., 2010. Seismic imaging of the Lithospheric structure of the Zagros mountain belt (Iran). Geological Society, London, Special Publications, 330:5–18.

Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. AAPG Bulletin, 52(7).

Taghizadeh-Farahmand, F., Afsari, N. & Sodoudi, F., 2014. Crustal thickness of Iran inferred from converted waves, Pure Applied Geophysics, 172, 309-331.

Talebian M. and J. Jackson, (2004), A reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros mountains of Iran, GJI, 156.

Vernant, Ph., etal., 2004. Present – day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measerments in Iran and northern Oman, Geophys, 570, 381-398.

Zhu, H., and Kanamori, H., 2000. Moho depth variation in southern Clifornia from teleseismic receiver functions, J. Geophys, Res, 105, 2969–2980.