Deep Structure Beneath Iranian Plateau Using the Joint Inversion of P-Receiver Function and Surface Wave Dispersion Data and Gravity Modeling

Mohammad Tatar
Professor, Seismology Research Center
mtatar@iiees.ac.ir

Mojtaba Namvaran, Hani Motevali Anbaran, Seyyed Khalil Motaghi

The interaction of different tectonic processes in the Middle East resulted from the closure of the Neotethys Ocean during the Cenozoic, produced complex lithospheric structures, which are responsible for the high current seismic activity. Surface uplift and earthquakes of large magnitudes occurred in the last decades in several areas of Iran, such as Tabas (Mw=7.4, 1978), Roudbar (Ms=7.3, 1990), Bam (Mw=6.6, 2002), Ahar – Varzaghan (Mw=6.4 & 6.2, 2012), and Sarpol–e Zahab (Mw=7.3, 2017), indicate that the crust is still being actively deformed.

The Iranian continental microplate has been the target of various geological and geophysical investigations during the last decade. Meanwhile, there are still many open questions about the structure and evolution of the tectonic features composing the Iranian microplate. The most controversial subjects are:

- The main mechanisms controlling the major volcanic activities in the Zagros, especially under the Urumieh–Dokhtar Magmatic Arc (UDMA);
- The causes of the high topography of the Zagros Mountains, which are possibly to be ascribed to the crustal thickening, followed the Arabian–Eurasian collision or to the dynamic support coming from the uprising of a hot asthenosphere beneath a thin lithosphere;
- The main geodynmic processes responsible for the tectonic configuration of the Iranian plateau during Neogene are thought to be: (a) underthrusting of the Arabian lithosphere beneath Central Iran (CI), (b) Neotethyan slab breakoff, and/or (c) lithospheric delamination.

In this study, a lithospheric velocity model was presented using recorded data in 137 temporary and permanent broadband stations located along two transects, extending in SW–NE direction from Ilam to Tehran, and from Khozestan province to Afghanistan, crossing different tectonic features, including Zagros, Sanandaj–Sirjan Zone (SSZ), UDMA, Central Iran, Estern Iran, and Alborz. We reconstruct the depth of the main lithospheric boundaries and velocity distribution in the upper mantle up to 200 km depth in the Iranian plateau, along the two transects. For this purpose, we jointly invert the P–receiver function (PRF) and a composed of group and

مطالعه ساختار عمیق فلات ایران با استفاده از مدلسازی داده‌های زمین‌لرزه و گرانیته

محمد تاتار
استاد پژوهشکده زلزله‌شناسی mtatar@iiees.ac.ir

مجتبی نامووران، هانی متولی عنبران، سید خلیل متقی

برهم‌کنش فرایندهای زمین‌ساختی مختلف در خاورمیانه، ناشی از بسته شده اقیانوس نئوتتیس در سنوزوئیک، منجر به ایجاد ساختارهای لیتوسفری پیچیده‌ای شده است که خود عامل مشاهده سطح بالای لرزه‌خیزی در این منطقه می‌باشد. در طی دهه‌های اخیر، بالاآمدگی سطحی و وقوع زمین‌لرزه‌های بزرگی چون طبس (Mw 7.4، ۱۹۷۸)، رودبار (Ms 7.3، ۱۹۹۰)، بم (Mw 6.6، ۲۰۰۲)، اهر-ورزقان (Mw 6.4 & 6.2، ۲۰۱۲)، و سرپل‌ذهاب (Mw 7.3، ۲۰۱۷) بر تغییر شکل فعال پوسته دلالت دارند. خردصفحه قاره‌ای ایران، هدف جستجوهای مختف ژئوفیزیک و زمین‌شناسی در طی دهه اخیر بوده است. با این وجود، هنوز پرسش‌های باز متعددی در خصوص ساختار و فرگشت ویژگی‌های زمین‌ساختی خردصفحه قاره‌ای ایران باقی مانده است. بیشتری موضوعات جدال‌برانگیز عبارتند از:

- سازوکارهای اصلی کنترل‌کننده فعالیت‌های آتشفشانی اصلی زاگرس، خصوصاً زیر کمان آتشفشانی ارومیه-دختر؛
- علل توپوگرافی بالای کوه‌های زاگرس، که احتمالاً ناشی از ضخیم‌شدگی پوسته در پی تصادم صفحات عربی-اوراسیا، یا تعادل دینامیکی متأثر از بالاآمدگی استنوسفر داغ در زیر لیتوسفر نازک باشد؛
- مهم‌ترین فرایندهای ژئودینامیکی مسئول برای شکل‌گیری زمین‌ساخت فلات ایران در طی نئوژن که تصور می‌شود موارد زیر باشند: (الف زیرراندگی لیتوسفر عربی به زیر ایران مرکزی؛ (ب) جداشدگی قطعه لیتوسفر نئوتتیس؛ و یا (ج) ورقه ورقه شدن لیتوسفر.

در پژوهش حاضر، مدل سرعتی لیتوسفر با استفاده از داده‌های ۱۳۷ ایستگاه لرزه‌نگاری دائمی و موقت نصب شده در امتداد دو پروفیل لرزه‌ای، با راستای شمال‌غرب-جنوب شرق، از ایلام تا تهران، و از خوزستان تا مرز افغانستان، که از زون‌های زمین‌ساختی مختلفی چون زاگرس، سنندج سیرجان، کمان ماگمائی ارومیه-دختر، ایران مرکزی، شرق ایران، و البرز عبور می کنند، مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. عمق مرزهای اصلی لیتوسفری و توزیع سرعت در گوشته فوقانی تا عمق ۲۰۰ کیلومتر در فلات ایران، و در زیر پروفیل‌های ذکر شده بازسازی می‌گردد. برای این منظور، از برگردان همزمان توابع انتقال گیرنده و منحنی‌های پاشندگی سرعت گروه و فاز امواج ریلی بهره برده شد. پایداری مدل‌های سرعت موج برشی، بکمک تخمین آنومالی بوگه از روی تبدیل سرعت‌های لرزه‌ای به دانسیته و سپس مقایسه با آنومالی بوگه مشاهده‌ای ارزیابی شد. در مرحله بعد، تغییرات سرعت لرزه‌ای بر اساس آنومالی‌های حرارتی به کمک کد عددی کانی-فیزیک و رسم مرز حرارتی لیتوسفر-استنوسفر در عمق ایزوترم ۱۳۰۰ درجه سانتی‌گراد مورد تفسیر قرار گرفت. نتایج بر تغییرات متوسط عمق موهو در سرتاسر پروفیل‌های لرزه‌ای، با مشاهده بیشینه‌ای حدود ۶۱ کیلومتر در زیر زون سنندج-سیرجان و کمان ماگمائی ارومیه-

phase velocities of surface wave data. The robustness of the obtained S–wave velocity model is evaluated by estimating the Bouguer anomalies from conversion of the seismic velocity into density and comparing the results with the observed Bouguer anomalies. In the next step, we interpreted the seismic velocity variations in terms of thermal anomalies using the mineral–physics numerical code and traced the thermal lithosphere–asthenosphere boundary (LAB) as the depth of the 1300 ˚C isotherm. The results show a moderate variation of the Moho depth along the entire cross–section with the maximum value of 61 km beneath the Sanandaj-Sirjan and Urumieh–Dokhtar Magmatic Arc (UDMA). Furthermore, thick lithosphere is identified beneath the Zagros, while the seismic and thermal LABs (LABS and LABT, respectively) are relatively shallow beneath the Main Zagros Thrust (MZT), Central Iran (CI) and Alborz, consistently with previous geophysical and geological data. The thin lithosphere under the MZT indicates an upcoming of the asthenosphere, which can be related to lithospheric delamination, likely occurred in 5 Ma or earlier. The presence of a high temperature zone beneath the Moho at the UDMA and in adjacent regions, which is partially connected to a hot deeper mantle, may reflect partial melting conditions, possibly due to mantle driven processes. Furthermore, in the Alborz Mountain range, the thin crustal root beneath the high elevated volcano (Damavand), and presence of a relatively thin lithosphere likely indicate that the magma formation has been possibly induced by continental lithospheric delamination.

Keywords: Receiver function, Joint inversion, Bouguer anomaly, Thermal modeling, Lithospheric delamination, Iranian plateau

دختر دلالت دارند. به علاوه، لیتوسفر ضخیم در زیر زاگرس مشاهده شد، در حالی که مرز لیتوسفر-استنوسفر لرزه‌ای و حرارتی (LABS and LABT) مشابه نتایج حاصل از داده‌های ژئوفیزیک و زمین‌شناسی قبلی، در زیر گسل اصلی زاگرس (MZT)، ایران مرکزی (CI)، شرق ایران، و البرز نسبتاً کم عمق هستند. لیتوسفر نازک در زیر گسل اصلی زاگرس معرف بالاآمدگی استنوسفر مرتبط با پدیده ورقه‌ای شدن لیتوسفر که بنظر می‌رسد در ۵ میلیون سال قبل رویداده است می‌باشد. حضور زون با دمای بالا در زیر کمان ماگمائی ارومیه-دختر و مناطق مجاور، که به طور بخشی به گوشته داغ عمیق‌تر ارتباط می‌یابد، می‌تواند تا حدودی معرف وجود شرایط ذوب ناشی از فرایند حرکت گوشته باشد. در رشته کوه البرز، وجود ریشه پوسته‌ای نازک در زیر ارتفاعات بلند دماوند، و حضور لیتوسفر نسبتاً نازک، احتمالاً ناشی از تشکیل ماگما طی فرایند ورقه‌ای شدن لیتوسفر باشد.

واژه‌های کلیدی: تابع گیرنده، برگردان همزمان، آنومالی بوگه، مدلسازی حرارتی، ورقه‌ای شدن لیتوسفر، فلات ایران