

3D Crustal Seismic Structure of Iran by Adjoint Tomography

Farzam Yaminifard

Associate Professor, Seismology Research Center
faryam@iiees.ac.ir

Abolfazl Komeazi, Mohammad Tatar, Ehsan Karkooti

The main structural exposed units in the Iranian plateau are Zagros, Alborz and Kopeh Dagh mountain ranges, the Central Iranian block, the Sanandaj-Sirjan metamorphic zone (SSZ), the Urmieh-Dokhtar magmatic arc (UDMA) and the Makran subduction zone. Ambient noise tomography is considered as an appropriate method to study the 3-D structure of the Iranian crust because of the sparse distribution of the seismic stations in Iran which limits the efficiency of the earthquake travel time tomography. We perform an adjoint waveform tomography using Rayleigh-wave empirical Green's functions (EGFs) at periods 10-50 s to improve a pre-existing 3-D velocity model of the crust and uppermost mantle beneath the Iranian plateau provided by Kaviani et al. (2020). The starting model was derived from a conventional surface-wave dispersion tomography based on high-frequency ray-theory assumption to invert a quasi-3-D shear-wave velocity model. The EGFs was used from the same study which were derived from cross correlation of continuous seismic noise. Adjoint tomography refines the initial model by iteratively minimizing the frequency-dependent travel-time misfits from synthetic and observed EGFs measured in different period bands.

Our new model covers the known tectonic units such as the Central Iranian Block, Zagros fold-and-thrust belt, Sanandaj-Sirjan metamorphic zone and Urmieh-Dokhtar magmatic arc. Overall, adjoint tomography provides images with better lateral resolution and depth sensitivity and more realistic absolute velocity values due to the inclusion of finite-frequency waveforms. The use of the numerical spectral-element solver in adjoint tomography provides accurate structural sensitivity kernels, which helps to obtain more robust images rather than those generated by ray-theory tomography. The final model significantly improves the initial model and provides a higher resolution for the geometry of velocity anomalies.

The result of this study shows the low velocity in the deep sediments of the southern basin of the South Caspian and Zagros and the shallow high velocity anomalies in Central Iran and the Arabian Shield. This model also confirms the thin crust under Central Iran and the South Caspian Basin and the relatively thick crust under the metamorphic zone of Sanandaj-Sirjan and the Zagros mountain range, in agreement with the high topography of these areas in the west of Central Iran.

تعیین مدل سرعتی سه بعدی پوسته ایران به روش توموگرافی الحاقی

فرزام یمینی فرد

دانشیار پژوهشکده زلزله شناسی faryam@iiees.ac.ir

ابوالفضل کمیزی، محمد تاتار، احسان کرکوتی

اصلی ترین واحدهای ساختمانی ایران که در سطح قابل مشاهده است شامل رشته کوههای زاگرس، البرز کپه داغ، بلوک ایران مرکزی، زون متامورفیک سنندج-سیرجان (SSZ)، کمان ماگمایی ارومیه-دختر (UDMA) و زون فروانش مکران می شود. توموگرافی نوفه محیطی به عنوان یک روش مناسب برای مطالعه ساختار سه بعدی پوسته ایران مورد توجه قرار گرفته است، زیرا توزیع پراکنده ایستگاههای لرزه نگاری در ایران و توزیع غیر یکنواخت زمین لرزه ها باعث محدودیت در استفاده از روش توموگرافی زمان سیر موج زمین لرزه ها شده است. در این تحقیق، روش وارون سازی توموگرافی الحاقی با استفاده از توابع گرین تجربی (EGFs) امواج سطحی ریلی حاصل از همبستگی نوفه محیطی در پریودهای ۱۰ تا ۵۰ ثانیه برای بهبود رزولوشن مدل سه بعدی پوسته و گوشته فوقانی ارائه شده توسط کاویانی و همکاران (۲۰۲۰) بکار گرفته شده است. مدل سرعت شبه سه بعدی کاویانی و همکاران (۲۰۲۰) از روش توموگرافی مرسوم پاشندگی امواج سطحی بر اساس همبستگی متقابل سیگنال پیوسته نوفه با فرض تئوری پرتو برای فرکانسهای بالا و درونیایی مدل های یک بعدی مستخرج شده از نقشه های سرعت دو بعدی سرعت در پریودهای مختلف منتج شده است. توموگرافی الحاقی این مدل اولیه را با کمینه سازی تکراری اختلاف های زمان رسید وابسته به فرکانس محاسبه شده از توابع گرین مصنوعی و مشاهده شده در بازه های پریودی مختلف بین جفت ایستگاه ها بهبود می دهد.

به طور کلی، توموگرافی الحاقی به علت وارد کردن شکل موج های با فرکانس محدود تصویری با رزولوشن جانبی و حساسیت عمقی بهتر و مقادیر سرعت مطلق نزدیکتر به واقعیت را فراهم می کند. استفاده از روش شبیه سازی المان طیفی تصاویر پایدارتر و در نتیجه قابل اعتمادتری را نسبت به توموگرافی بر مبنای فرضیه تئوری پرتو نتیجه می دهد. نتایج نهایی حاصل از این روش مدل سه بعدی سرعت برشی پوسته ایران در مدل اولیه را بهبود داده و رزولوشن ناهنجاریهای سرعت پوسته و گوشته فوقانی مشاهده شده در مدل اولیه را افزایش داده است.

نتیجه این مطالعه، سرعت کم در ناحیه رسوبات عمیق حوضه جنوبی دریای خزر و زاگرس و آنومالی های پر سرعت کم عمق در ایران مرکزی و سپر عربی را نشان می دهد. این مدل همچنین مؤید پوسته نازک در زیر ایران مرکزی و حوضه خزر جنوبی و پوسته نسبتاً ضخیم در زیر زون متامورفیک سنندج سیرجان و گستره کوهستانی زاگرس در توافق با توپوگرافی بلند این نواحی در غرب ایران مرکزی است.

از دیگر ویژگی های این مدل، وجود آنومالی های پر سرعت در زیر زاگرس جنوبی و خلیج فارس، و سرعت های کم در زیر بلوک لوت در شرق ایران در پوسته زیرین است. از نکات قابل توجه دیگر در این مدل تغییرات

Another feature of this model is the presence of high-velocity anomalies under the southern Zagros and Persian Gulf, and low velocities under the Lut block in eastern Iran in the lower crust. Another noteworthy point in this model is the crustal thickness changes along the collision zone, which indicates a heterogeneous continental collision after the end of the Neotethys subduction, which can be seen by comparing the depth sections in the north and south of Zagros. In general, it seems that the dip of the underthrusting of the Arabian crust under Central Iran increases from the southeast to the northwest.

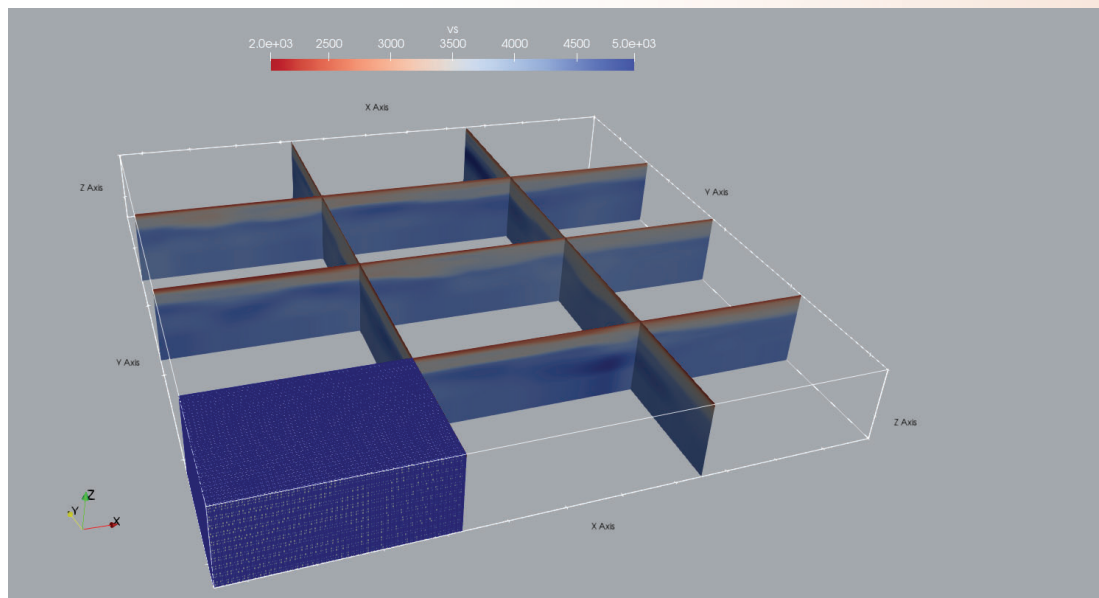
In this velocity model, an obvious low-velocity zone is also observed in the southern margin of the Kopet-Dagh area and north of the Lut block in the lower crust, which can be considered an important tectonic boundary in the Kopet-Dagh collision zone in the Binalud region.

Keywords: Seismic structure, Crust, Upper mantle, Adjoint tomography, Iran

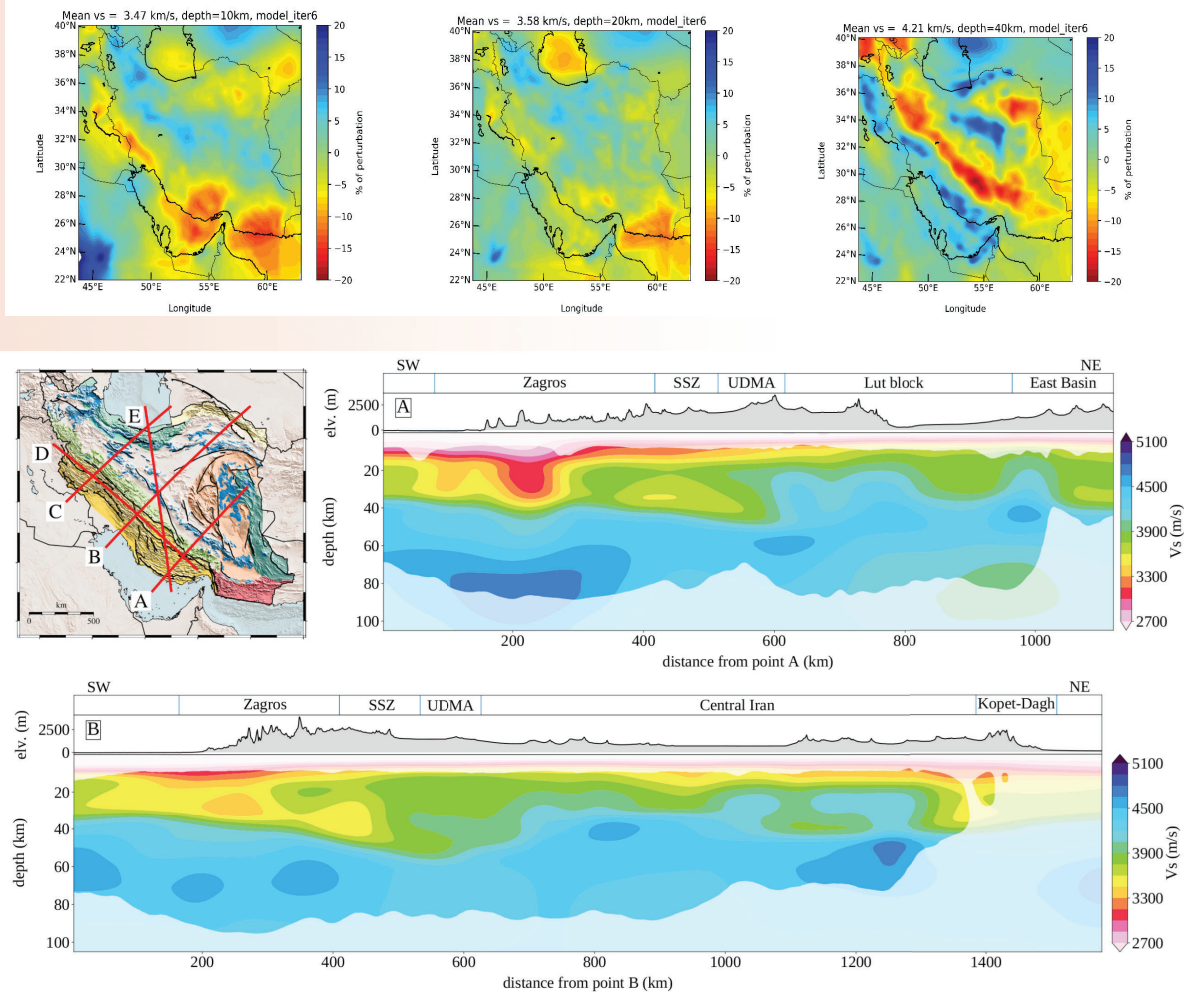
ضخامت پوسته در امتداد زون برخوردی است که نشانگر یک برخورد قاره‌ای ناهمگن بعد از پایان فرورانش نئوتتیس است که به وضوح با مقایسه مقاطع عمقی در شمال و جنوب زاگرس قابل مشاهده است. به طور کلی، بنظر می‌رسد از جنوب شرق به سمت شمال غرب شیب راندگی پوسته عربی به زیر ایران مرکزی افزایش می‌یابد.

در این مدل سرعتی یک زون کم سرعت بارز نیز در حاشیه جنوبی منطقه کپه داغ و شمال بلوک لوت در پوسته زیرین مشاهده می‌شود که می‌تواند به عنوان یک مرز تکتونیکی مهم در زون برخوردی کپه‌داغ در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: ساختار لرزه‌ای، پوسته، گوشته فوقانی، توموگرافی الحاقی، ایران



شکل (۱)



شکل (۲)