

ساختار سرعتی در تهران با استفاده از توموگرافی موج P

مهسا افرا^۱، مجتبی نقوی^۲، تقی شیرزاد^۳

^۱دانش‌آموخته ژئوفیزیک، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، m_afra006@alumni.ut.ac.ir

^۲دانش‌آموخته ژئوفیزیک، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، mojtabanaghavi@ut.ac.ir

^۳دانشجوی پسادکتری، مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، tshirzadiraj@ut.ac.ir

چکیده

در این پژوهش با استفاده از زمان رسید امواج P ثبت شده از زمین‌لرزه‌های با بزرگی کوچکتر از ۴، ساختار سه بعدی سرعتی در تهران تعیین می‌شود. برای این منظور از داده‌های ایستگاه‌های وابسته به سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران و نیز مرکز لرزه‌نگاری کشوری در بازه زمانی ۲۰۰۴ تا ۲۰۱۶ استفاده شده است. از مجموع زمین‌لرزه‌های ثبت شده در این ایستگاه‌ها، شکل موج‌های مربوط به ۳۷۹ رویداد برای توموگرافی به‌گونه‌ای انتخاب شدند تا نتایج دارای کمترین اثرات ناشی از خطاهای انسانی (مانند خواندن فاز) یا محاسباتی (مانند خطای مکان‌یابی) باشد. نتایج حاصل بیانگر سه ویژگی بارز تکتونیکی شامل بی‌هنجاری پرسرعت در کوه‌های شمال تهران و کوه‌های شرق تهران، و همچنین بی‌هنجاری تقریباً کم‌سرعت در دشت مثلثی مرکزی تهران می‌باشد. از طرفی گسل شمال تهران، گسل شمال-جنوب ری و بخش‌هایی از گسل کهریزک در این گستره، با بی‌هنجاری کم سرعت به وضوح قابل ملاحظه می‌باشد. نقشه‌های توموگرافی در این گستره نشان می‌دهد که ناحیه تهران دارای لایه‌ای به ضخامت ۶ کیلومتر است که بر روی سنگ بستری با سرعت ثابت تا عمق ۲۰ کیلومتری قرار دارد. **واژه‌های کلیدی:** توموگرافی زمین‌لرزه‌های محلی، ساختار سرعتی، برنامه SIMULPS14، تهران

Velocity structure in Tehran using P-wave tomography

Mahsa Afra¹, Mojtaba Naghavi², Taghi Shirzad³

^{1,2}Graduated student, Institute of Geophysics, University of Tehran

³Postdoctoral student, Institute of Geophysics, University of Tehran

Abstract

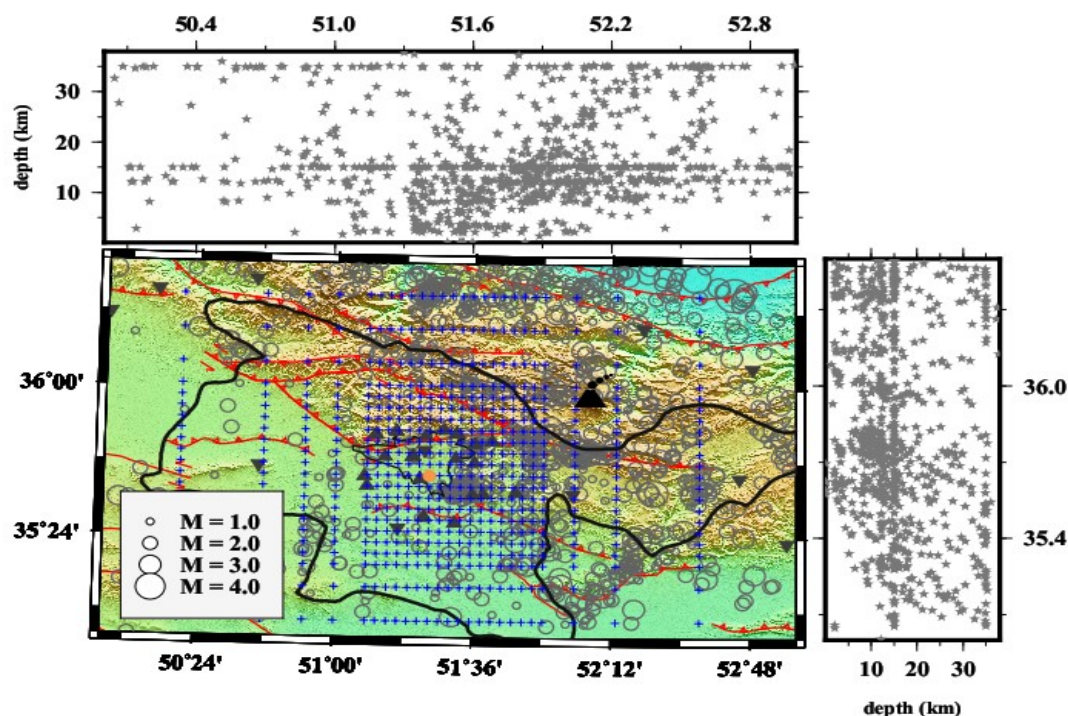
In this study, 3-D crustal velocity structure of Tehran is determined using first P-wave arrival times of events with magnitudes less than 4. For this purpose, we use data from stations run and operated by Tehran Disaster Management and Mitigation Organization (TDMMO) and Iranian Seismological Center (IRSC) which were recorded between 2004 and 2016. Of the total earthquakes recorded, 379 events were selected for the tomography so that the results would have the least effect of human mistakes (e.g. phase picking) or computational errors (e.g. location uncertainties). Results show three tectonic characteristics including high-velocity anomalies in north and east Tehran Mountains, and low-velocity anomaly in triangular Tehran basin. Furthermore, North Tehran Fault, north-south Ray Fault, and some parts of Kahrizak Fault clearly indicate low-velocity anomalies. The tomographic maps show that the Tehran region contains of a layer with thickness of 6 km which is located over bedrock with constant velocity up to 20 km.

Keywords: Local earthquake tomography, Velocity structure, SIMULPS14, Tehran

۱ مقدمه

زمین‌ساخت فعال در ایران ناشی از حرکت تکتونیکی همگراشونده صفحات عربی و اوراسیا است (جکسون و مکنزی، ۱۹۸۴). از این رو، لرزه‌خیزی رشته‌کوه‌های البرز که بخشی از این سیستم تکتونیکی پیچیده است نیز تحت تاثیر این همگرایی قرار دارد. تهران به عنوان گستره مورد بررسی در این مطالعه در دامنه جنوبی این رشته کوه‌ها و بر روی مجموعه‌ای از رسوبات آبرفتی واقع شده است (ریین، ۱۹۵۵، ۱۹۶۶). از سوی دیگر، وجود گسل‌های فعال (خطوط قرمز در شکل ۱) و نیز تمرکز بالای جمعیت در این ناحیه ریسک لرزه‌ای منطقه را افزایش می‌دهد. بررسی تاریخ لرزه‌خیزی در تهران نشان می‌دهد که تا سال ۱۸۳۰ چندین زمین‌لرزه مخرب با بزرگی بیشتر از ۷ در این منطقه اتفاق افتاده است (آمبرسیز و ملویل، ۱۹۸۲). با توجه به مطالب ذکر شده و نیز اهمیت ساختار سرعتی در تعیین دقیق پارامترهای چشمه، فعالیت‌های لرزه‌ای و ارزیابی خطر زمین-

لرزه‌ها، بررسی جزئی‌تر ساختار سرعتی پوسته در این ناحیه بسیار ضروری می‌باشد. ساختار سرعتی پوسته تهران بر اساس بررسی‌های توموگرافی هنوز به درستی مشخص نشده است. از این رو، در مطالعه حاضر، با استفاده از توموگرافی زمان رسیدن-های اولین امواج P خرد زمین‌لرزه‌های محلی، به بررسی ساختار سه بعدی مدل سرعتی پوسته تهران می‌پردازیم.

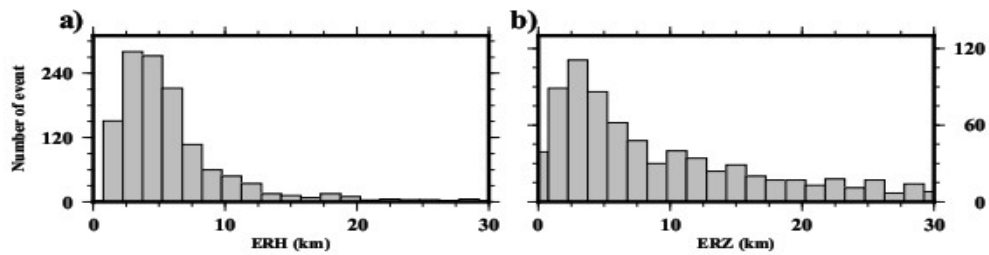


شکل ۱. منطقه مورد مطالعه و توزیع عمقی زمین‌لرزه‌ها. مثلث‌های خاکستری پرنگ مکان ایستگاه‌های سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران، مثلث‌های خاکستری پرنگ وارونه ایستگاه‌های مرکز لرزه‌نگاری کشوری، دایره‌های طوسی زمین‌لرزه‌ها، علامت‌های + مکان گره‌ها، دایره نارنجی رنگ نقطه مرجع و خطوط قرمز رنگ گسل‌های منطقه را نشان می‌دهند. توزیع عمقی زمین‌لرزه‌ها در راستای طول جغرافیایی و عرض جغرافیایی به ترتیب در داخل کادرهای بالا و راست نقشه مشخص شده است.

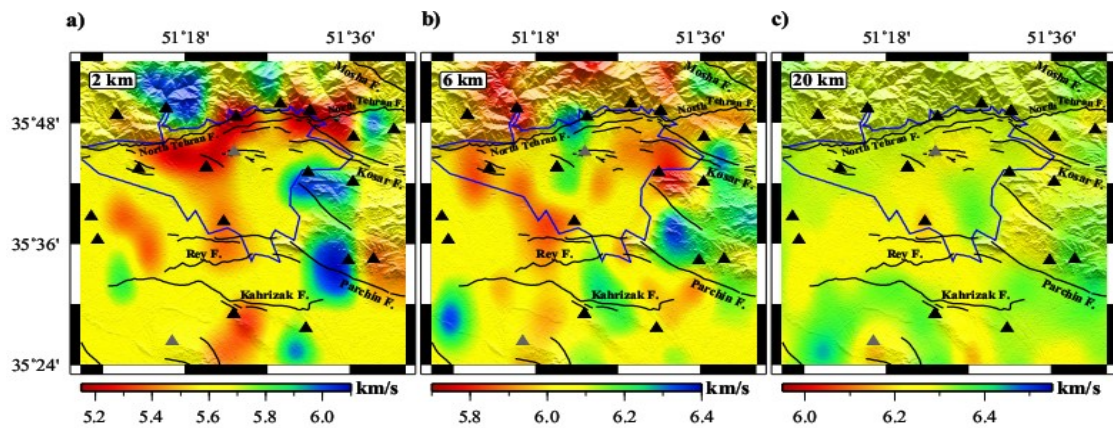
۲ روش تحقیق

در این مطالعه، به منظور بررسی ساختار سرعتی از روش توموگرافی زمین‌لرزه‌های محلی استفاده می‌شود. این روش یک رهیافت وارون‌سازی غیرخطی در تعیین هم‌زمان پارامترهای زمین‌لرزه و ساختار سرعتی از زمان رسیدن‌های اولین امواج S و P رویدادهای محلی است. از این رو، برنامه SIMULPS14 که به زبان برنامه‌نویسی فرترن است (تبر، ۱۹۸۳؛ ابره‌ارت-فیلیپس، ۱۹۹۰؛ هاسلینگ و کیسلینگ، ۲۰۰۱) برای انجام فرآیند توموگرافی در گستره مورد مطالعه استفاده می‌شود. از آنجا که این برنامه از روش تکرار غیرخطی حداقل مربعات میراشونده به منظور حل مسئله وارون‌سازی استفاده می‌کند، تعیین ضرایبی مانند مکان اولیه زمین‌لرزه‌ها، مدل اولیه سرعت، شبکه‌بندی منطقه مورد مطالعه، و تعداد تکرارها برای انجام وارون‌سازی و به دست آوردن نتیجه بهینه موج P در گستره تهران امری ضروری می‌باشد. در این مطالعه شکل موج‌های با نرخ سیگنال به نوفه بیشتر از ۴ به کار رفته است که در محدوده سال‌های ۲۰۰۴ الی ۲۰۱۶ در ۲۵ ایستگاه وابسته به سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران (مثلث‌های خاکستری پرنگ در شکل ۱) و مرکز لرزه‌نگاری کشوری (مثلث‌های خاکستری پرنگ وارونه در شکل ۱) ثبت شده‌اند. هم‌چنین این داده‌ها دارای بزرگی کوچکتر از ۴ و با بیشینه عمق ۳۵ کیلومتر می‌باشند (شکل ۱). برای کاهش خطای ناشی از مکان‌یابی در نتایج نهایی، از رویدادهای با عدم قطعیت ۵ کیلومتر استفاده می‌گردد. هیستوگرام خطاهای مکان‌یابی ناشی از این رویدادها در شکل ۲ نشان داده شده است. لذا، داده نهایی مورد استفاده شامل ۳۷۹ رویداد با حداقل ۸ قرائت در هر رویداد، گاف آزمون‌موتی کمتر از ۲۷۰ درجه و فاصله رومرکزی ۱۵۰ کیلومتر از نقطه مرجع (دایره نارنجی

رنگ در شکل ۱) می‌باشد. همچنین، در این مطالعه از مدل سرعتی یک بعدی عباسی و همکاران (۲۰۱۰) به عنوان مدل اولیه/مدل ورودی مورد استفاده در برنامه SIMULPS14 استفاده می‌گردد. برای استفاده از این برنامه منطقه مورد مطالعه شبکه‌بندی می‌گردد به طوری که سرعت لرزه‌ای به وسیله روش درون‌یابی برای فضای بین گره‌ها تعیین گردد. در این پژوهش فاصله گره‌ها در امتداد شمال-جنوب و شرق-غرب ۵×۵ کیلومتر در نظر گرفته شده است. همچنین، تعداد تکرار مناسب برای حل مسئله وارون‌سازی و به دست آوردن نقشه‌های بهینه توموگرافی مقدار ۵ تعیین شده است. منطقه مورد مطالعه (طول جغرافیایی ۵۰ تا ۵۳ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ تا ۳۶/۵ درجه شمالی)، نقطه مرجع (دایره نارنجی)، آرایش گره‌ها (علامت + آبی)، توزیع بزرگی (دایره‌های خاکستری)، و توزیع عمق زمین‌لرزه‌ها در راستای شمالی-جنوبی و شرقی-غربی در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل ۲. هیستوگرام خطاهای مکان‌یابی ناشی از رویدادها. (a) خطای رومرکز و (b) خطای عمق.



شکل ۳. توزیع افقی سرعت موج P در عمق، (a) ۲ کیلومتر، (b) ۶ کیلومتر و (c) ۲۰ کیلومتر. رنگ آبی مناطق با سرعت بیشتر و رنگ قرمز مناطق با سرعت کمتر را نشان می‌دهد.

۳ نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از توموگرافی سه بعدی در اعماق ۲، ۶ و ۲۰ کیلومتر در شکل ۳ نشان داده شده است. این نتایج بیانگر ویژگی‌های بارز تکتونیکی در کوه‌های شمال تهران، کوه‌های شرق تهران و دشت مرکزی تهران می‌باشد. در عمق ۲ کیلومتر (شکل ۳a)، بی‌هنجاری‌های پر سرعت به وضوح در بخش شمالی منطقه مورد مطالعه (کوه‌های شمال تهران) مشاهده می‌شوند. علاوه بر این، در منطقه نزدیک به گسل کوثر در کوه‌های شرق تهران و گسل پارچین نیز یک بی‌هنجاری پرسرعت دیده می‌شود. از سوی دیگر، در منطقه زیر گسل شمال تهران بی‌هنجاری‌های ناپیوسته کم سرعت مشخص است. همچنین در بخش انتهایی غربی گسل ری و نیز منطقه نزدیک به گسل کهریزک نیز بی‌هنجاری‌های کم سرعت وجود دارند. در عمق ۶ کیلومتر (شکل ۳b)، کوه‌های شمال تهران به صورت بی‌هنجاری‌های کم سرعت ظاهر می‌شوند. این امر می‌تواند حاکی از کم‌عمق بودن ریشه کوه‌های تهران باشد. علاوه بر این، عمق ۶ کیلومتری نشان‌دهنده گذر از لایه‌های ضخیم آبرفتی به سنگ بستر در دشت تهران است. در حالی که اشتری و همکاران (۲۰۰۵) عمق تغییر از رسوبات به سنگ بستر را حدود ۸ کیلومتر بیان نموده‌اند. از طرفی، تعدادی بی‌هنجاری پر سرعت و کم سرعت نیز در این عمق مشخص است. در اعماق بیشتر (۲۰ کیلومتر)، به دلیل وجود

سنگ بستر تغییرات چشمگیری در سرعت مشاهده نمی‌شود. همان‌طور که در شکل ۳c دیده می‌شود، تغییرات سرعت در این عمق یکنواخت است.

۴ تشکر و قدردانی

این مطالعه با استفاده از داده‌های سازمان پیشگیری و مدیریت بحران شهر تهران و مرکز لرزه‌نگاری کشوری تهیه شده است. همچنین نویسندگان از نظرات و پیشنهادات جناب آقای دکتر فرزام یمینی فرد (عضو هیئت علمی پژوهشگاه بین‌المللی زلزله-شناسی و مهندسی زلزله) کمال تشکر را دارند.

References

- Abbassi, A., Nasrabadi, A., Tatar, M., Yaminifard, F., Abbassi, M.R., Hatzfeld, D., and Priestly, K., 2010, Crustal velocity structure in the southern edge of the Central Alborz (Iran): *Journal of Geodynamics*, **49**, 68-78.
- Ashtari, M., Hatzfeld, D., and Kamalian, N., 2005, Microseismicity in the region of Tehran: *Tectonophysics*, **395**, 193-208.
- Ambraseys, N., and Melville, C., 1982, *A history of Persian earthquakes*: Cambridge Univ. Press.
- Eberhart-Phillips, D., 1990, Three-dimensional P and S velocity structure in the Coalinga region, California: *J. Geophys. Res.*, **95**, 15343-15363.
- Haslinger, F., and Kissling, E., 2001, Investigation effects of 3-D ray tracing methods in local earthquake tomography: *Phys. Earth planet. Int.*, **123**, 103-114.
- Jackson, J.A., and McKenzie, D.P., 1984, Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan: *Geophys. J. R. astr. Soc.*, **77**, 185-246.
- Rieben, E.H., 1955, The geology of Tehran plain: *American Journal of Science*, **253**, 617-639.
- Rieben, W.H., 1966, Geological observation on alluvial deposits in northern Iran; *Geological Survey of Iran* 9.
- Thurber, C.H., 1983, Earthquake locations and three-dimensional crustal structure in the Coyote Lake Area, Central California: *J. geophys. Res.*, **88**, 8226-8236.