

## تغییرات ناهمسانگردی لرزه‌ای در غرب ایران با استفاده از مشاهدات موج شبه‌لاو

امیر صادقی باقرآبادی<sup>۱</sup>، لوچیا مارگریتی<sup>۲</sup>، عبدالکریم اویدیا<sup>۳</sup>، فرهاد ثبوتوی<sup>۱</sup>

<sup>۱</sup>دانشکده علوم زمین، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، ایران [Amir.Sadeghi@Hotmail.com](mailto:Amir.Sadeghi@Hotmail.com)

<sup>۲</sup>موسسه زئوفیزیک و آتشفشنان‌شناسی، رم، ایتالیا

<sup>۳</sup>مرکز بین‌المللی فیزیک نظری، تریسته، ایتالیا

### چکیده

در این مطالعه از داده‌های برداشت شده بین سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ توسط یک شبکه موقت لرزه‌نگاری در غرب ایران استفاده شده است. این شبکه مشتمل بر ۶۳ ایستگاه لرزه‌نگاری باند پهن بود که در طول سه پروفیل با امتداد شمال شرقی-جنوب غربی گسترده شده‌اند. مطالعات پیشین و اخیر جدایش امواج برشی نشان‌دهنده وجود الگوهای متنوعی از ناهمسانگردی لرزه‌ای در گوشه‌های فلات ایران هستند. مشاهدات موج شبه‌لاو را می‌توان به عنوان گواهی بر وجود تغییرات جانبی ناهمسانگردی لرزه‌ای در نظر گرفت. داده‌های ثبت شده توسط این شبکه موقت به منظور بررسی حضور و یا نبود نسبی جفت شدگی امواج لاو و ریلی مورد بررسی قرار گرفته است. رکوردها به نحوی فیلتر شده‌اند تا نسبت به ساختارهای عمیق تر از ۱۰۰ کیلومتر حساس باشند. حضور موج شبه‌لاو را می‌توان از طریق رابطه هندسی بین راستای محور سریع ناهمسانگردی به دست آمده از جدایش امواج برشی از یک سو و راستای انتشار امواج سطحی پیش‌بینی کرد. مشاهدات موج شبه‌لاو در این مطالعه موبید وجود ساختارهای ناهمسانگرد با تغییرات جانبی محور سریع در طول پروفیل لرزه‌ای است.

**واژه‌های کلیدی:** ناهمسانگردی لرزه‌ای، امواج سطحی، موج شبه‌لاو، برخورد قاره‌ای، البرز، زاگرس

## Variation of Seismic Anisotropy in Western Iran Inferred from Quasi-Love observations

Amir Sadeghi-Bagherabadi<sup>1</sup>, Lucia Margheriti<sup>2</sup>, Abdelkrim Aoudia<sup>3</sup>, Farhad Sobouti<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth Sciences, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, Iran ([Amir.Sadeghi@Hotmail.com](mailto:Amir.Sadeghi@Hotmail.com))

<sup>2</sup>Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Rome, Italy

<sup>3</sup>Abdus Salam International Centre for Theoretical Physic, Trieste, Italy

### Abstract

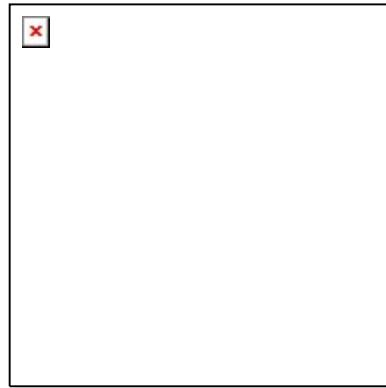
We use data from a temporary seismic network in western Iran which was deployed in 2013 and 2014 and consisted of 63 broadband seismometers installed along three parallel profiles. Diverse patterns of upper mantle anisotropy in the region are revealed by recent studies on shear wave splitting of core-refracted phases. Observation of quasi-Love surface waves is a proxy for the lateral gradients of anisotropy. We quantitatively analyzed the relative presence or absence of coupled Love and Rayleigh waves recorded by the temporary seismic stations. The records were filtered so that they are sensitive to structures deeper than 100 km. The presence of quasi-Love is predicted by the geometric relation between the fast axis as inferred from shear wave splitting measurements, and the surface wave back-azimuths. Our observations of Love-to-Rayleigh scattering allow us to argue for the existence of an upper mantle anisotropic structure with laterally-variable horizontal symmetry axis.

**Keywords:** Seismic anisotropy, Surface waves, Quasi-Love wave, Continental collision, Alborz, Zagros

### ۱ مقدمه

فلات ایران از استان‌های مختلف تکتونیکی و ساختاری نظیر کوهزاده‌های زاگرس و البرز، فروزانش فعال مکران و کمربندهای آتشفشنانی ارومیه دختر و سنتنج سیرجان تشکیل شده است. آگاهی از روند ناهمسانگردی لرزه‌ای را می‌توان به عنوان گامی بلند در راستای درک نحوه دگرشکلی در این مجموعه متنوع از ساختارها و استان‌های تکتونیکی در نظر گرفت. از روش‌های مختلف بررسی ناهمسانگردی لرزه‌ای می‌توان به مطالعات جدایش امواج برشی، توموگرافی امواج سطحی و مشاهدات موج شبه‌لاو اشاره کرد. پژوهش‌های جدایش امواج برشی صورت پذیرفته در یک دهه گذشته بر وجود تغییرات باز روند ناهمسانگردی لرزه‌ای در فلات ایران دلالت دارند (آروین و همکاران، ۱۳۹۳؛ Sadikhouy et al., 2008; Kaviani et al., 2009) (شکل)

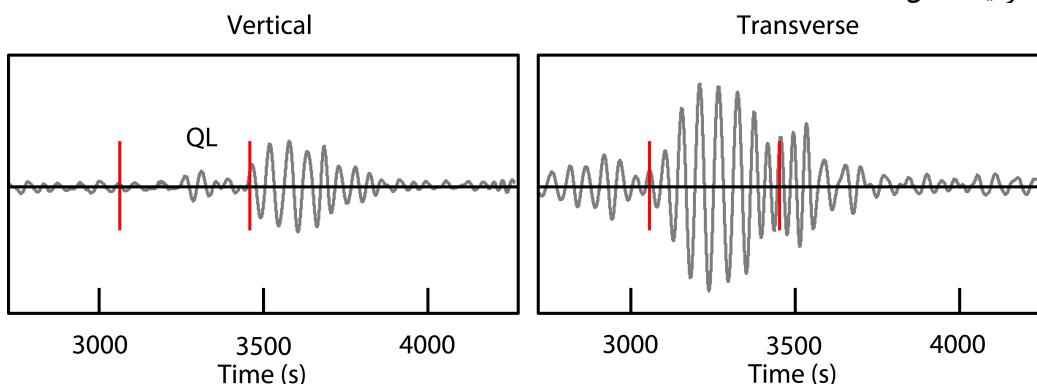
(۱). مطالعه Kaviani et al., (2009) به عنوان بزرگ مقیاس ترین پژوهش صورت گرفته در ایران مجموعه‌ای متنوع از محورهای سریع با روند شمال شرقی-جنوب غربی، شمال غربی-جنوب شرقی و پاسخهای تهی را ارائه کرده است. Kaviani et al., (2008) ناهمسانگردی لرزه‌ای گوشه‌های گوشه در البرز مرکزی را بررسی کرده و به نتایجی متناقض با Kaviani et al., (2009) دست یافتنند. مطالعه آروین و همکاران (۱۳۹۳) در شمال غرب ایران موید روند شمال شرقی-جنوب غربی گزارش شده توسط Hansen et al. (2006) در شرق ترکیه بود. Sandvol et al. (2003) نیز ناهمسانگردی لرزه‌ای در شبه جزیره عربستان را مورد مطالعه قرار داده و بردارهای با راستای تقریبی شمالی-جنوبی را گزارش نمود. جدای از مطالعات جدایش موج برشی فوق الذکر، از سایر روش‌ها برای بررسی ناهمسانگردی لرزه‌ای در فلات ایران استفاده نشده است. در این مطالعه نتایج مشاهدات موج شبه‌لاو برای کاوش در وجود تغییرات ناهمسانگردی لرزه‌ای در غرب ایران ارائه شده است.



شکل ۱. نتایج مطالعات پیشین جدایش موج برشی و موقعیت ایستگاه‌های لرزه‌نگاری مورد استفاده در این مطالعه (مثلث قرمز). فلاش قرمز رنگ نشان دهنده راستای انتشار موج سطحی تحلیل شده در این مطالعه است.

## ۲ روش تحقیق

داده‌های یک شبکه لرزه‌نگاری موقت در غرب ایران به منظور بررسی حضور و یا عدم حضور نسبی موج شبه‌لاو مورد بررسی قرار گرفته‌اند. این شبکه شامل ۱۶۳ ایستگاه لرزه‌نگاری باند پهنه بوده که به شکل یک پروفیل سه‌خطی با راستای شمال شرقی-جنوب غربی آرایش یافته‌اند. داده‌برداری توسط ایستگاه‌های شبکه به مدت یک سال و در بازه زمانی بین اکتبر سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ میلادی صورت پذیرفته است. نصب ایستگاه‌ها در قالب یک پروژه سه‌جانبه بین دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران و آکادمی علوم چین مقدور شده است. زلزله‌های ثبت شده که دارای قابلیت ایجاد موج شبه‌لاو بودند بررسی گردیده و نهایتاً رکوردهای یک زلزله با سمت وارون (Back-azimuth) ۹۵ درجه مورد وارسی نهایی قرار گرفت. یک فیلتر میان‌گذر با پهنهای ۷۰ تا ۲۰۰ ثانیه بر روی داده‌ها اعمال گردید تا حساسیت سیگنال حاصل به ساختارهای با عمق تقریبی بیشتر از ۱۰۰ کیلومتر محدود شود. از میان ۶۳ ایستگاه موجود، در ۵۱ ایستگاه زمان رسیدهای واضح و با کیفیت امواج لاو و ریلی انتخاب شد و حضور کمی موج شبه‌لاو با محاسبه نسبت انرژی آن به انرژی موج لاو برآورد گردید (شکل ۲).



شکل ۲. نمونه‌ای از شکل موج‌های استفاده شده در این مطالعه به همراه موج شبه‌لاو. زمان رسید امواج لاو و ریلی با خطوط قرمز مشخص شده‌اند.

### ۳ نتیجه‌گیری

وجود یک رابطه هندسی خاص بین راستای محور سریع ناهمسانگردی و خط واصل بین زلزله و ایستگاه از شروط لازم برای حضور موج شبلاو است. به همین دلیل است که معمولاً یک همبستگی عمومی و بزرگ مقیاس بین مشاهدات موج شبلاو و محورهای سریع به دست آمده از آنالیز جدایش موج برشی وجود دارد (Margheriti et al. 2014). مطالعه اخیر جدایش موج برشی در ایستگاه‌های شبکه موقت نشان دهنده وجود تغییرات و پهنه‌های روند ناهمسانگردی متفاوت در طول پروفیل است (شکل ۳). پیش از آن نیز (Kaviani et al., 2009) بر وجود سه الگوی ناهمسانگردی در فلات ایران شامل دو روند شمال شرقی-جنوب غربی و عمود بر آن به علاوه مشاهدات تهی گذاشته بودند (شکل ۱). نتایج مشاهدات موج شبلاو در ایستگاه‌های شبکه موقت مovid وجود پنج پهنه ناهمسانگرد متفاوت به شرح زیر در منطقه برخوردي عربی-اوراسیا است (شکل ۳):

۱. در البرز موج شبلاو قابل رویت است (راستای محور سریع ناهمسانگردی شمال شرق-جنوب غرب است)
۲. در ایران مرکزی و حاشیه جنوبی البرز از میزان دامنه موج شبلاو کاسته می‌شود (محور سریع ناهمسانگردی از راستای شمال شرق-جنوب غرب منحرف می‌شود)
۳. در ناحیه‌ای مشتمل بر حاشیه جنوبی ایران مرکزی و نوار شمالی سندنج سیرجان موج شبلاو مجدداً تقویت می‌شود (محور سریع ناهمسانگردی در شمال این منطقه دارای روند شرقی-غربی است که به یک الگوی شمال شرقی-جنوب غربی در مرز سندنج سیرجان تغییر می‌کند)
۴. در مرز بین سندنج سیرجان و زاگرس موج شبلاو چندان قابل مشاهده نیست (راستای محور سریع تقریباً شمال شرقی-جنوب غربی است)
۵. در کمربند چین خورده-رورانده زاگرس موج شبلاو مجدداً تقویت می‌گردد (راستای محور سریع عموماً شمال شرقی-جنوب غربی است).

شکل ۳. نتایج بررسی حضور نسبی موج شبلاو در ایستگاه‌ها با دایره‌های توپر نشان داده شده‌اند. رنگ تیره دایره‌ها نشان دهنده حضور و رنگ روشن نشان دهنده عدم حضور موج شبلاو در هر ایستگاه است. بردارهای حاصل از نتایج آنالیز جدایش موج برشی نیز نمایش داده شده‌اند. مناطق آبی و سبز رنگ به ترتیب نشان دهنده پهنه‌های با مشاهده موفق و ناموفق موج شبلاو هستند.

### منابع

- آروین، ش.، ثبوتی، ف.، قدس، ع.، مرتضی‌نژاد، غ.، پریستلی، کیث.، ۱۳۹۳، مطالعه ناهمسانگردی در شمال‌غرب ایران: مجموعه مقالات شانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران.
- Hansen, S., Schwartz, S., Al-Amri, A., and Rodgers A., 2006, Combined plate motion and density driven flow in the asthenosphere beneath Saudi Arabia: evidence from shear-wave splitting and seismic anisotropy. *Geology*, 34, 869–872.
- Kaviani, A., Hatzfeld, D., Paul, A., Tatar, M., and Priestley K., 2009, Shear wave splitting, lithospheric anisotropy, and mantle deformation beneath the Arabia-Eurasia collision zone in Iran. *Earth Planet. Sci. Lett.*, 286, 371–378, doi:10.1016/j.epsl.2009.07.003.
- Margheritia, L., Lucente, F.P., Park, J., Pondrelli, S., Levin, V., Steckler, M.S., Baccheschi, P., and Salimbeni, S., 2014, Large-scale coherent anisotropy of upper mantle beneath the Italian peninsula comparing quasi-Love waves and SKS splitting. *J. Geodyn.*, 82, 26–38.
- Sadidkhony, A., Javan-Doloei, G., and Siahkoohi, H. R., 2008, Seismic anisotropy in the crust and upper mantle of the Central Alborz Region, Iran. *Tectonophysics*, 456, 194–205, doi:10.1016/j.tecto.2008.05.001
- Sandvol, E., Turkelli, N., Zor, E., Gok, R., Bekler, T., Gurbuz, C., Seber, D., and Barazangi M., 2003, Shear wave splitting in a young continent-continent collision: An example from Eastern Turkey. *Geophys. Res. Lett.*, 30, 8041, doi:10.1029/2003GL017390, 24