

## M

امیر صادقی باقراآبادی<sup>۱</sup>، فرهاد ثبوتی<sup>۱</sup>، عبدالرضا قدس<sup>۱</sup>، خلیل متقی<sup>۱</sup>، مرتضی طالبیان<sup>۲</sup>، لینگ چن<sup>۳</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>پژوهشکده علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران

<sup>۳</sup>موسسه زمین‌شناسی و ژئوفیزیک، آکادمی علوم چین

## M

آگاهی از الگوی دگرشکلی جاری و گذشته در ساختارهای عمیق از نقشی کلیدی در افزایش درک ما از تحول مرزهای برخوردی ایران برخوردارند. در این مطالعه از اندازه‌گیری‌های ناهمسانگردی لرزه‌ای برای فهم این الگو بهره جسته شده است. داده‌های برداشت شده با استفاده از یک شبکه موقت لرزه‌ای برای برآورد پارامترهای جدایش موج برشی به کار برده شده‌اند. این شبکه متشکل از تعداد ۶۳ ایستگاه لرزه‌نگاری باند پهن، به مدت یک سال و در فاصله سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۱۴ میلادی مشغول داده‌برداری بوده است. چینش ایستگاه‌های شبکه در سه پروفیل با راستای شمال شرقی-جنوب غربی بوده و از ایران مرکزی و کمربند‌های چین‌خورده-رورانده زاگرس و البرز عبور کرده است. نتایج آنالیز جدایش موج برشی فازهای منکسرده از گوشته (SKS/SKKS) نشان‌دهنده وجود میانگین زمان تاخیر تقریبی ۱/۳ ثانیه در طول پروفیل است. همچنین پارامتر راستای محور سریع دارای تغییرات ناگهانی در طول پروفیل است که بر وجود تغییرات معنادار در نوع دگرشکلی و در گذار از واحدهای تکتونیکی دلالت دارد. در این میان وجود یک روند موازی با رشته کوه در زاگرس و یک الگوی عمود بر رشته کوه در البرز به وضوح قابل تشخیص است.

ناهمسانگردی لرزه‌ای، جدایش موج برشی، برخورد قاره‌ای، البرز، زاگرس، دگرشکلی لیتوسفر

## M

## Seismic Anisotropy of the Upper Mantle in Western Iran

Amir Sadeghi-Bagherabadi<sup>1</sup>, Farhad Sobouti<sup>1</sup>, Abdolreza Ghods<sup>1</sup>, Khalil Motaghi<sup>1</sup>, Morteza Talebian<sup>2</sup>, Ling Chen<sup>3</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>Research Institute of Earth Sciences, Geological Survey of Iran

<sup>3</sup>Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Science

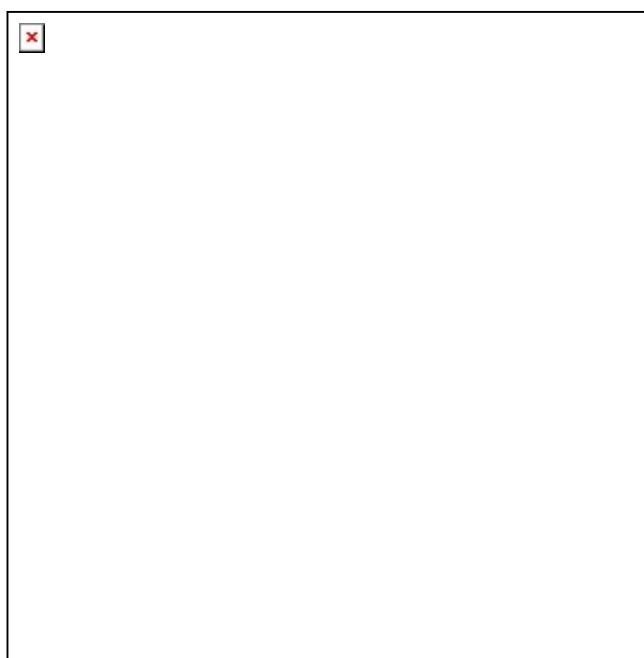
### Abstract

Understanding the pattern of past and present deformation at depth provides a valuable key for enhancing our knowledge about the evolution of the collisional boundary in the Iran region. Here we use measurements of seismic anisotropy to understand this pattern. We use data from a temporary seismic network in western Iran to calculate shear-wave splitting parameters. The network was in operation for one year in 2013 and 2014 and consisted of 63 broadband seismometers installed along three parallel profiles that crossed the western Zagros Mountains, central Iran and the western Alborz Mountains. We present our results as splitting measurements of the teleseismic SKS/SKKS core-refracted phases. Our results show an average delay time of about 1.3 sec. The fast polarization orientation of the measurements varies significantly along the profile, indicating important changes in style of deformation across different tectonic units. A range-parallel trend is observed in the Zagros, while the orientations of the fast axes are perpendicular to the strike in the Alborz.

**Keywords:** Seismic anisotropy, Shear wave splitting, Continental collision, Alborz, Zagros, Lithospheric deformation

روش‌های متنوعی برای مطالعه میزان ناهمسانگردی لرزه‌ای گوشته زمین وجود دارد و آنالیز جدایش موج برشی فازهای لرزه-ای منکسرده از مرز هسته و گوشته (SKS/SKKS) از شناخته شده‌ترین آنها است. برقرار کردن یک ارتباط منطقی بین مشاهدات جدایش امواج برشی و مکانیسم دگرشکلی در اعماق مختلف زمین هدف غایی این قبیل مطالعات محسوب می‌شود. در این میان تعیین منشأ مشاهدات جدایش امواج برشی در سطح زمین از چالش‌برانگیزترین مسائل موجود در مطالعات

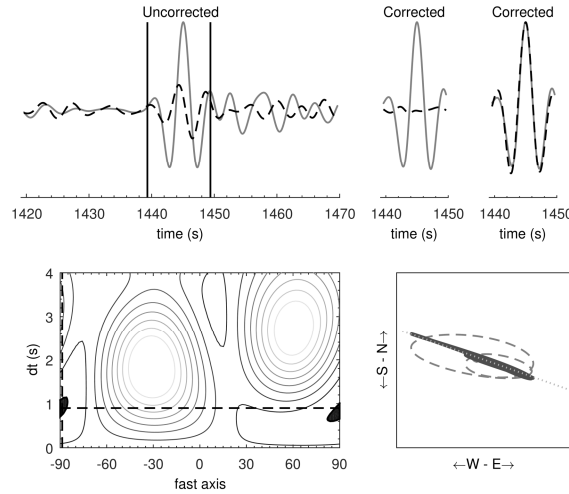
ناهمسانگردی لرزه‌ای است. از اندازه‌گیری‌های ناهمسانگردی لرزه‌ای می‌توان در تعیین راستای جریان‌ات استنوسفری و مشخص کردن میدان‌های دگرشکلی در گوشته و پوسته زمین بهره جست. مطالعه Kaviani et al., (2009) را می‌توان اولین جستار مهم در باب دگرشکلی گوشته منطقه برخوردی عربی-اوراسیا با استفاده از ناهمسانگردی لرزه‌ای دانست که منجر به ارائه یک نقشه از ناهمسانگردی لرزه‌ای در ایران شده است (شکل ۱). نتایج Kaviani et al., (2009) نشان‌دهنده تغییر ناهمسانگردی در گذار از استان‌های عمده زمین‌ساختی است. وجود این تغییرات مانع از ارائه یک تفسیر واحد همچون ناهمسانگردی ناشی از جریان‌ات گوشته‌ای برای کل منطقه می‌شود. مطالعه آروین و همکاران ۱۳۹۳ در شمال غرب ایران روند تقریباً مشابهی را با نتایج Sandvol et al. (2003) در شرق ترکیه ارائه کرده است. Sadidkhouy et al. (2008) ناهمسانگردی لرزه‌ای گوشته بالایی را در البرز مرکزی مطالعه نموده و یک روند شمال شرقی-جنوب غربی را گزارش کردند که در تناقض با نتایج Kaviani et al., (2009) قرار دارد (شکل ۱). Hansen et al. (2006) نیز ناهمسانگردی لرزه‌ای را در شبه‌جزیره عربستان مورد بررسی قرار داد و نتایج این مطالعه همانطور که در شکل ۱ دیده می‌شود نشانگر وجود یک روند تقریباً شمالی-جنوبی است.



شکل ۱. نقشه منطقه برخوردی عربی-اوراسیا و نتایج مطالعات جدایش موج برشی پیشین. ایستگاه‌های لرزه‌نگاری استفاده شده در این پژوهش با مثلث‌های قرمز رنگ نشان داده شده‌اند.

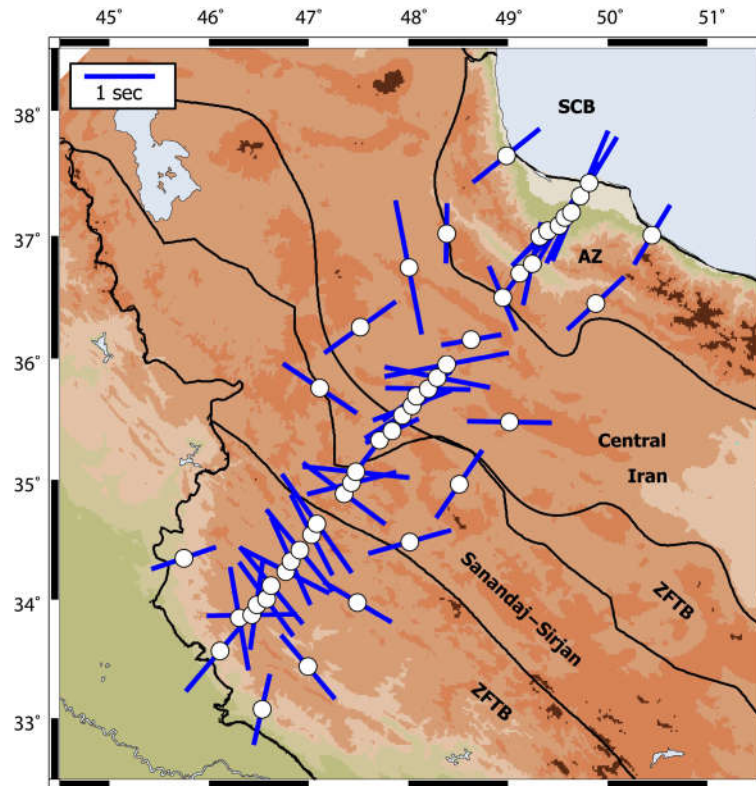
داده‌های مورد استفاده در این مطالعه حاصل یک پروژه تحقیقاتی سه‌جانبه بین دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی ایران و آکادمی علوم چین است. این پروژه مشتمل بر نصب ۶۳ ایستگاه لرزه‌نگاری موقت باند پهن در غرب ایران و در طول سه پروفیل با امتداد شمال شرقی-جنوب غربی بوده که به مدت یک سال از اکتبر سال ۲۰۱۳ تا اکتبر سال ۲۰۱۴ میلادی فعال بوده‌اند (شکل ۱). زلزله‌های ثبت شده به وسیله این شبکه با بزرگی ممانی بیشتر از ۵/۰ و فاصله بین ۹۰ تا ۱۳۰ درجه به منظور برآورد پارامترهای جدایش موج برشی، مورد بررسی قرار گرفتند. از یک فیلتر میان‌گذر ۰/۰۴ تا ۰/۲۵ هرتز برای بیشینه کردن نسبت سیگنال به نویز استفاده شده و پنجره حاوی فازهای لرزه‌ای SKKS/SKS به صورت دستی انتخاب گردیده است. روش کمینه انرژی (Silver and Chan 1991) برای آنالیز جدایش موج برشی مورد استفاده قرار گرفته است (شکل ۲). در نهایت از یک مجموعه از معیارهای کیفی به شرح زیر برای انتخاب نتایج قابل اعتماد بهره جسته شده است:

- ۱- وجود دامنه واضح فاز مورد نظر در هر دو مولفه شعاعی و مماسی رکورد
- ۲- وجود نسبت سیگنال به نویز بالاتر از ۴ در مولفه شعاعی رکورد
- ۳- بیضوی شکل بودن نمودار حرکت ذره (Particle motion) قبل از تصحیح ناهمسانگردی
- ۴- خطی شدن نمودار حرکت ذره پس از تصحیح ناهمسانگردی



شکل ۲. مثالی از مولفه‌های شعاعی و مماسی یکی از رکوردهای مورد استفاده در آنالیز جدایش موج برشی (بالا سمت چپ). مولفه‌های سریع و کند قبل از تصحیح ناهمسانگردی نیز در قسمت بالا و سمت راست شکل نمایش داده شده‌اند. نقشه انرژی مولفه عرضی و نمودار حرکت ذره قبل و بعد از تصحیح ناهمسانگردی در ردیف پایین شکل دیده می‌شوند.

با بکارگیری معیارهای فوق‌الذکر تعداد ۲۳۹ نتیجه تهی و ۶۸۵ زوج پارامتر جدایش موج برشی حاصل شد. مقادیر میانگین این پارامترها در ایستگاه‌های با حداقل دو اندازه‌گیری غیر تهی محاسبه گردید (شکل ۳). در ۱۶ ایستگاه از مجموع ۶۳ ایستگاه تعداد اندازه‌گیری‌های قابل قبول کمتر از این میزان بود و در نتیجه مقدار میانگین برای آنها محاسبه و ارائه نشد. اگرچه توزیع جغرافیایی زلزله‌های مورد استفاده برای مدل‌سازی ناهمسانگردی دولاویه ناکافی است، اما در اکثر ایستگاه‌ها مقادیر پارامترهای حاصل از اندازه‌گیری‌های منحصربفرد از پراکندگی ناچیزی حول مقدار میانگین برخوردار هستند. این میزان قابل قبول از توزیع حول مقدار میانگین را می‌توان به عنوان شاهدهی بر تک‌لایه بودن ناهمسانگردی در نظر گرفت. مقدار میانگین پارامتر تاخیر زمانی در ایستگاه‌های مختلف در حدود ۱/۳ ثانیه است و تغییر چندانی نمی‌کند. از آن‌سو راستای محورهای سریع اندازه‌گیری شده در طول پروفیل ثابت نیست و با گذر از استان‌های تکتونیکی دچار تغییر می‌گردد. مقادیر میانگین در ایستگاه‌های قرار گرفته در کمربند چین‌خورده-رورانده زاگرس نشانگر یک روند تقریباً موازی با رشته کوه است که می‌توان آن را محصول دگرشکلی لیتوسفر دانست. حال آنکه راستای بردارهای قرار گرفته در البرز تقریباً عمود بر رشته کوه و به موازات بردارهای جی‌پی‌اس در چارچوب بدون چرخش خالص (No net rotation) است. بردارهای ناهمسانگردی ارائه شده توسط این مطالعه و Sadidkhouy et al. (2008) در البرز و در موازات با مقادیر ارائه شده توسط Sandvol et al. (2003) و Kaviani et al. (2009)، در شرق ترکیه و شرق خزر قرار دارند. این همسویی بردارهای ناهمسانگردی در مناطق تکتونیکی مختلف و موازی بودن تقریبی آنها با بردارهای حرکت صفحات در سیستم بدون چرخش خالص، می‌تواند بر منشاء استنوسفری ناهمسانگردی در البرز دلالت داشته باشد.



شکل ۳. ایستگاه‌های با بیش از دو اندازه‌گیری غیر تپی با دایره نشان داده شده‌اند. بردارهای میانگین ناهمسانگردی لرزه‌ای در هر ایستگاه با خطوط آبی رنگ نمایش داده شده‌اند. طول هر بردار متناسب با زمان تاخیر و جهت‌گیری آن در راستای محور سریع در هر ایستگاه است.

آروین، ش.، ثبوتی، ف.، قدس، ع.، مرتضی‌نژاد، غ.، پرستلی، کیث.، ۱۳۹۳، مطالعه ناهمسانگردی در شمال غرب 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.

Sadidkhouy, A., Javan-Doloei, G., and Shiahkoochi, 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