# مطالعه‌ی ساختار پوسته و موهو از حوضه خزر جنوبی و البرزغربی تا منطقه بوئین‌زهرا با استفاده از تحلیل توابع گیرنده

شیوا آروین[۱]، فرهاد ثبوتی[۱]، کیث پریستلی[۲]، عبدالرضا قدس[۱]، سید خلیل متقی[۱]
[1]دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، shivarvn@gmail.com
[2]دانشگاه کمبریج انگلستان

## چکیده

در این پژوهش با استفاده از تحلیل توابع گیرنده P به بررسی ضخامت پوسته، هندسه مرز موهو و ساختارهای ناپیوستگی در منطقه‌ی البرز غربی، بوئین‌زهرا و کوه‌های اشتهارد پرداخته شده است. در این مطالعه از داده‌های24 ایستگاه لرزه‌نگاری موقت دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان که از شهریور ماه سال 1393 تا فروردین ماه سال 1395، در ایالت لرزه‌زمین‌ساختی البرز غربی نصب شده، استفاده شده است. در این مطالعه شکل‌موج‌های زلزله‌های ثبت شده در فواصل رومرکزی 25 الی 85 درجه‌ای با بزرگای بالاتر از 5/5 مورد بررسی قرار گرفت. در این بررسی مرز تکتونیکی و ساختاری میان لیتوسفر حوزه‌ی خزر جنوبی و لیتوسفر البرز شناسایی شد. هیچ گونه شاهدی مبنی بر راندگی حوضه خزر جنوبی به زیر البرز دیده نمی‌شود. ماهیت اقیانوسی یا شبه اقیانوسی پوسته حوضه خزر جنوبی به دلیل مشاهده ضخامت تقریبی ۳۵ کیلومتری و همخوانی با لرزه‌خیزی مشاهده شده در آن نقض می‌شود. ضخامت پوسته از ۵۰ تا ۵۸ کیلومتر در ایران مرکزی تغییر می‌کند. در لبه شمالی البرز مرز موهو بسیار عمیق شده و نزدیک ۷۰ کیلومتر می‌رسد. پروفیل ضخامت پوسته با پروفیل توپوگرافی البرز نطابق نداشته و بیشترین ضخامت در سوی شمالی رشته کوه روی می دهد. بعید به نظر می رسد که این پوسته ضخیم حاصل برخورد قاره ای عربی-اوراسیا در نیمه اخیر سنوزوئیک باشد و می تواند یک ساختار به جا مانده از کوهزایی ای قدیمی‌تر باشد.

**واژه‌های کلیدی:** توابع‌گیرنده P ، البرز غربی، عمق موهو، ناپیوستگی لرزه‌ای

# Investigation of crustal structure and Moho beneath South Caspian Basin and western Alborz - Booin-Zahra region using receiver function analysis

**Shiva Arvin[1], Farhad Sobouti[1], Keith Priestley[2], Abdolreza Ghods[1], Seyed Khalil Motaghi[1]**

[1,1] *Department of Earth Sciences, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS), Zanjan,Iran.*
[2]*Bullard Laboratories, University of Cambridge, Madingley Road, Cambridge CB30EZ, UK*

## Abstract

We have studied crustal seismic structure across the West Alborz ranges by analysis of P wave receiver functions. We used teleseismic events recorded by 24 seismic stations installed and operated by the Institute for Advanced Studies in Basic Sciences (IASBS. We used teleseismic earthquakes with magnitudes greater than 5.5 and epicentral distances between 25º and 85º. In this study, the tectonic and structural boundary between the lithosphere of the Southern Caspian Basin (SCB) and the lithosphere of the Alborz was identified. There is no evidence that the Southern Caspian Basin is underthrusting beneath the Alborz. In the coastal region, the thickness of the South Caspian crust reaches to about 35 km. implying that the SCB is unlikely to be floored by an oceanic or oceanic-like basement crust. This observation is also consistent with evidence from seismicity. The crustal thickness of central Iran in the Booin-Zahra region and further south varies between 50 to 58 km. Moho depth beneath the northern flank of the Alborz reaches to as deep as70 km. This unusually thick crust is at odds with results of previous studies and it does not have an obvious correlation with surface geological evidence. It may be a relic of tectonic events older than the recent Arabia-Eurasia collision.

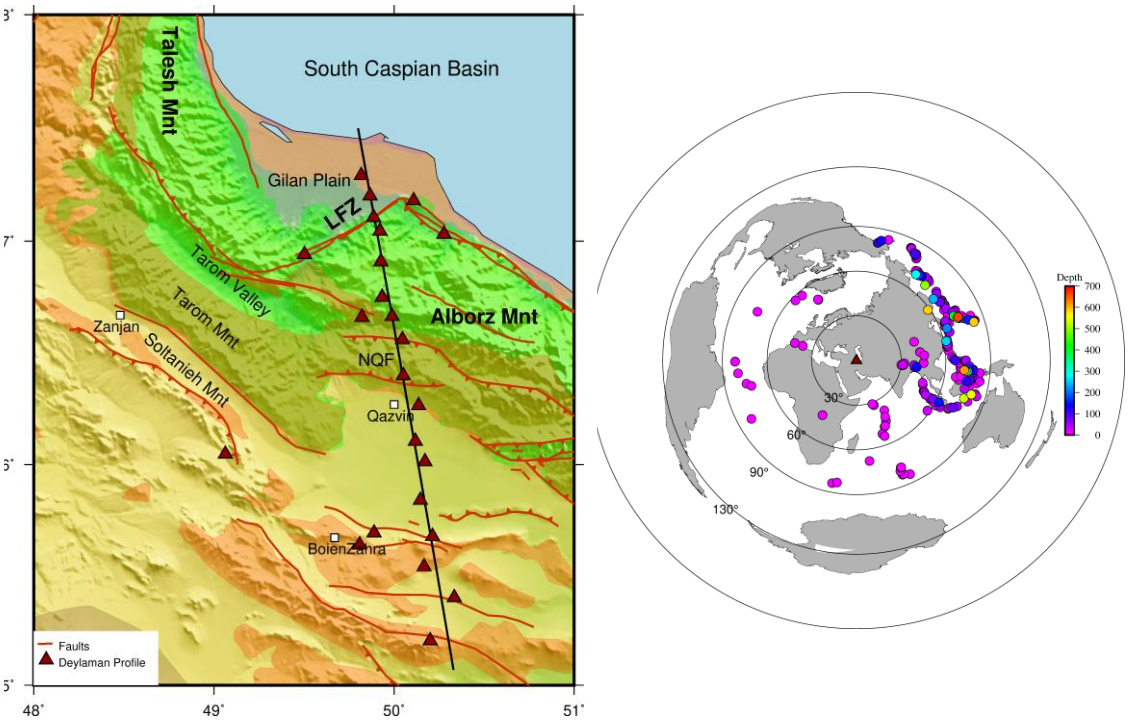
**Keywords:** P receiver functions, west Alborz, Moho depth, seismic discontinuity

## 1 مقدمه

ناحیه تکتونیکی البرز نشانگر یک منطقه‌ی فعال دگرشکلی در میان ورقه‌ی پایدار ایران مرکزی و ورقه‌ی اوراسیاست. منطقه‌ی مورد مطالعه در برگیرنده‌ی قسمتی از حوزه خزر جنوبی، البرزغربی، منطقه‌ی بوئین‌زهرا و کوه‌های اشتهارد است. بر اساس بیشتر مطالعات پیشین پوسته‌ی حوزه‌ی خزر جنوبی ماهیت اقیانوسی و البرز ماهیت قاره‌ای دارد. یکی از اهداف مهم این مطالعه بررسی ساختار موهو و ناپیوستگی‌های کم عمق‌تر برای یافتن ارتباط تکتونیکی و ساختاری میان لیتوسفر خزر جنوبی و لیتوسفر البرز در منطقه‌ی گذار دو پوسته با ماهیت متفاوت است، همچنین در جنوب منطقه نیز، بررسی گذار از تکتونیک فعال البرز به تکتونیک ورقه‌ی پایدار ایران مرکزی است. توابع گیرنده ساختار زمین در زیر ایستگاه‌های لرزه‌نگاری را نشان می‌دهند و ابزار مناسبی برای تشخیص و بررسی مرزهای ناپیوستگی در عمق‌های مختلف زیر ایستگاه هستند. در این پژوهش با مطالعه توابع گیرنده P به شناخت ساختار پوسته و بررسی گذارهای تکتونیکی پرداخته شده است. با تشخیص فازهای تبدیلی Ps (در تابع گیرنده P) و تعیین زمان رسید فازهای تبدیلی، می‌توان ضخامت پوسته و هندسه مرز موهو را مورد بررسی قرار داد. در کنار مطالعات متعددی که در البرز مرکزی انجام گرفته است، اطلاعات کمی از ساختار و ضخامت پوسته در البرز غربی موجود است (تاتار، 2001؛ راهم، 2009؛ موسویان و تاتار، 2013؛ ثبوتی و همکاران، 1393).

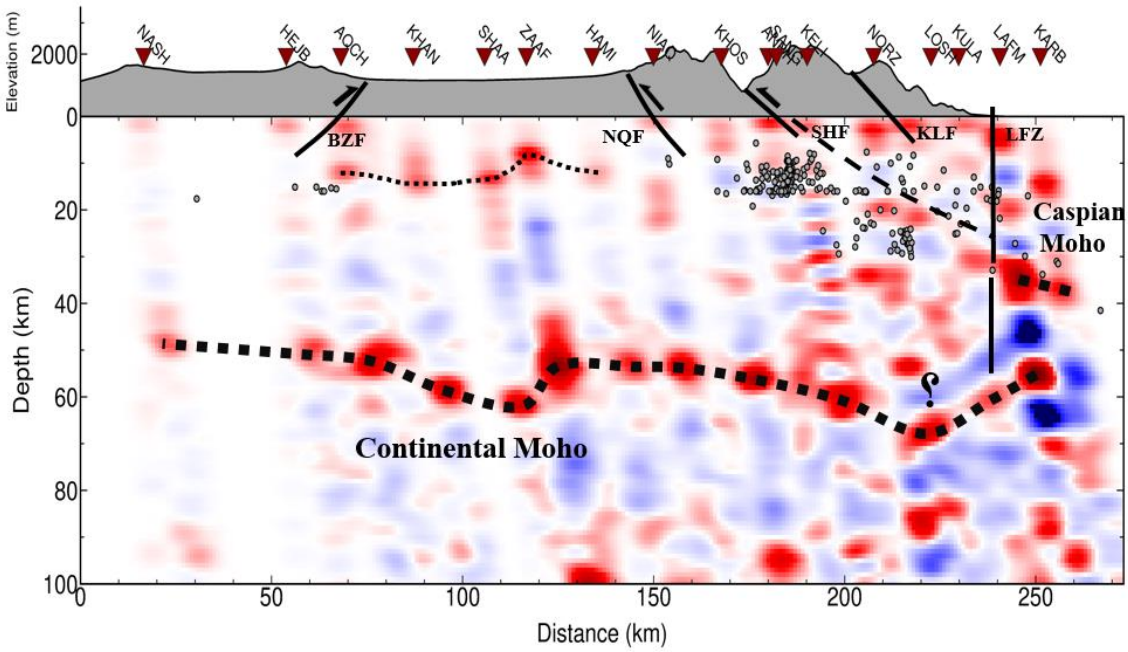
## 2 روش تحقیق

در این مطالعه از لرزه‌نگاشت‌های ثبت شده در ایستگاه‌های شبکه‌ی موقت لرزه‌نگاری دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان استفاده شده است. این شبکه شامل 24 ایستگاه لرزه‌نگاری است که از شهریور ماه سال 1393 تا فروردین ماه سال 1395، در ایالت لرزه‌زمین‌ساختی البرز غربی نصب شده است (شکل۱). 16 ایستگاه در راستای یک پروفیل خطی تقریباً شمالی- جنوبی با فاصله‌ی میان ایستگاهی نزدیک به 15 کیلومتر و 8 ایستگاه در اطراف این پروفیل قرار دارند. برای بدست آوردن توابع گیرنده P از شکل‌موج‌های زلزله‌های ثبت شده در فواصل رومرکزی 25 الی 85 درجه‌ای با بزرگای بالاتر از 5/5 استفاده شده است.




شکل 1: موقعیت ایستگاه‌های لرزه‌نگاری (مثلث‌های زرشکی) در منطقه‌ی مورد مطالعه (سمت چپ)، خطوط قرمز رنگ بیان‌گر گسله‌های موجود در منطقه است. خط مشکی بیانگر پروفیلی است که بر روی آن توابع گیرنده مهاجرت به عمق داده شده‌اند (شکل ۲). توزیع رومرکز زمین‌لرزه‌های مورد بررسی قرار گرفته در این پژوهش (سمت راست). رنگ هر دایره مبین عمق هر رخداد است.

برای محاسبه توابع گیرنده P، بعد از برداشتن پاسخ دستگاهی از روی لرزه‌نگاشت‌ها، یک فیلتر میان‌گذر 0/02-1/0 هرتز اعمال شده است. سپس به بررسی نسبت سیگنال به نویز داده‌ها در پنجره زمانی ۴۵ ثانیه قبل و ۴۵ ثانیه بعد از زمان رسید فاز p پرداخته شد و داده‌های با کیفیت خوب انتخاب شده‌اند. مؤلفه‌های لرزه‌نگاشت‌ها از دستگاه مختصات ZNE به دستگاه مختصات ZRT چرخانده شده‌اند. سپس توابع گیرنده برای مقادیر مختلف فیلتر گوسی از0/8 الی 5/0 ، با استفاده از روش واهمامیخت در حوزه زمان (لیگوریا و آمون، 1999) محاسبه شدند و دوباره مورد بررسی کیفی قرار داده شده و توابعی که کیفیت مناسب داشتند به عنوان نتایج نهایی توابع گیرنده برای هر ایستگاه در نظر گرفته شدند. بعد از محاسبه توابع گیرنده برای بالا بردن وضوح مکانی و مطاله تغییرات عمق موهو در زیر ایستگاه‌های لرزه‌نگاری توابع گیرنده برانبارش شده و مهاجرت به عمق داده شده‌اند (شکل ۲).




شکل ۲. توابع گیرنده **P** مهاجرت به عمق داده شده در راستای پروفیل مشخص شده در شکل۱. مرز موهو با نقطه چین بزرگ نشان داده شده است. نقطه چین ریز در زیر دشت بویئن زهرا مزر رسوبات را نشان می‌دهد. خط چین در ادامه گسل شاهرود مبین پی سنگی بودن گسله است. دایره‌های طوسی رنگ لرزه‌خیزی در منطقه را نشان می‌دهد(حسن‌زاده و همکاران، 1395). **BZF** : گسل بوئین‌زهرا، **NQF** : گسل شمال قزوین، **SHF** : گسل شاهرود، **KLF** : گسل کلیشم، **LFZ** : زون گسلی لاهیجان.

## 3 نتیجه‌گیری

همانطور که در شکل 2 مشاهده می‌شود ناپیوستگی موهو بدست آمده در زیر حوضه خزر جنوبی ضخامت تقریبی ۳۵ کیلومتر برای پوسته نشان می‌دهد که این ضخامت در مغایرت با فرض اقیانوسی و یا شبه اقیانوسی بودن پوسته خزر است. همچنین دیگر شاهد برای این موضوع که این ضخامت پوسته‌ای را در زیر خزر را تایید می‌کند وجود لرزه‌خیزی در این پوسته تا ضخامت مشاهده شده است. مرز میان موهو حوضه خزر جنوبی و موهو البرز شناسایی شده است و اختلاف ضخامت پوسته خزز و پوسته البرز به صورت یک پله میان دو ایستگاه LAFM و KULA در شکل مشخص است. این پله‌ی ضخامتی به دلیل وجود زون گسلی لاهیجان به وجود آمده است، این گسله با حرکت چپ‌بر خود پوسته نازک حوضه خزر را در مقابل پوسته ضخیم البرز قرار داده است. متقی و همکاران (2018) با بررسی زمان‌رسیدهای امواج حجمی و بدست آوردن مدل سرعتی دو بعدی در البرز غربی، یک اختلاف سرعتی در پوسته و گوشته بالایی میان دامنه شمالی البرز و حوضه خزر جنوبی مشاهده کردند که می‌تواند بیانگر مرز لیتوسفری میان البرز و حوضه خزر جنوبی باشد، در این صورت شاهدی بر عدم راندگی حوضه خزر جنوبی به زیر البرز است. در این مطالعه نیز هیچ گونه شاهدی مبنی بر راندگی حوضه خزر جنوبی به زیر البرز دیده نمی‌شود.

در زیر لبه شمالی البرز ضخامت پوسته به ۷۰ کیلومتر می‌رسد (منطقه با علامت سوال در شکل ۲) که این ضخامت زیاد نمی‌تواند حاصل فعالیت‌های جوان تکتونیکی باشد زیرا در این صورت باید دقیقا در زیر البرز قرار میداشت و به احتمال زیاد این ضخیم شدگی سن بسیار قدیمی‌تری دارد. تکنیک و همکاران (۲۰19) در مطالعه‌ای بر اساس مدل‌سازی گرانی-مغناطیس یک مدل دو بعدی برای ساختار پوسته شمال‌غرب ایران بدست آورند. طبق مدل سازی آنها ضخامت زیاد پوسته در این ناحیه می‌تواند ناشی از وجود اکلوژیت با چگالی زیاد در عمق پایین‌تر از ۴۰ کیلومتری است. ضخامت پوسته از ۵۰ تا ۵۸ کیلومتر در ایران مرکزی تغییر می‌کند. ضخامت رسوبات در این ناحیه بین ۱۰ الی ۱۵ کیلومتر در تغیر است. فرو افتادگی در مرز موهو در میانه ایران مرکزی مشاهده می‌شود که به احتمال ناشی از فشارش موجود در منطقه است که این فشارش از طرفین در سطح دگرشکلی شکنا را با وجود دو گسله معکوس شمال قزوین و بوئین زهرا نشان می‌دهد و در اعماق به دلیل فشار و عمق زیاد دگرشکلی به صورت ناشکنا و خمیدگی در مرز موهو تعدیل شده است.

## منابع


ثبوتی.، ف.، مرتضی‌نژاد.، غ.، متقی.، خ.، عزیززنجانی.، آ. و پریستلی.، ک.، 1393. ساختار پوسته در حاشیه جنوبی خزر و البرز غربی. شانزدهمین کنفرانس ژئوفیزیک ایران.

حسن‌زاده.، م.،ع. 1395. بررسی لرزه‌زمین‌ساخت پهنه‌ی گسلی شاهرود با استفاده از داده‌های شبکه‌ی محلی و برداشت-های میدانی نوزمین‌ساختی. رساله‌ی کارشناسی ارشد، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان.

Ligorria, J.P., and Ammon, C.J., 1999. Iterative deconvolution of teleseismic seismograms and receiver function estimation, *Bull. Seism. Soc. Am*., 89, 1395-1400.

Motaghi, K., Ghods, A., Sobouti, F., Shabanian, E., Mahmoudabadi, M., and Priestley, K., 2018. Lithospheric seismic structure of the west Alborz–Talesh ranges, Iran, *Geophysical Journal International*, **215**(3), 1766–1780.

Musaviyan, S, and Tatar, M., 2013. Crustal structure of the Western Alborz by joint inversion of receiver function and surface wave dispersion curve. *Iranian Journal of Geophysics*, 7(4) 81-94.

Rham, D., 2009. The crustal structure of the Middle East. Ph.D. Thesis. University of Cambridge Library, Cambridge, UK.

Tatar, M., 2001. Etude seismotectonique de deux zones de collision continentale: le Zagros Central et l'Alborz (Iran).Ph.D. thesis, Universit`e de Grenoble.

Teknik, V., Ghods A., Thybo, H. and Artemieva, I., 2019. Crustal density structure of NW Iranian Plateu. *Canadian Journal of Earth Sciences*.