لرزه‌زمین‌ساخت گسله‌ی شاهرود و پهنه‌ی انتقال میان گسله‌های رودبار و شاهرود

میرعلی حسن‌زاده[۱]، عبدالرضا قدس[۲]، اسماعیل شبانیان[۳]

[۱] دانشجوی دکتری ژئوفیزیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، دانشکده‌ی علوم زمین a.hassanzadeh@iasbs.ac.ir
[۲] دانشیار، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، دانشکده‌ی علوم زمین aghods@iasbs.ac.ir.
[۳] استادیار، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان، دانشکده‌ی علوم زمین shabanian@iasbs.ac.ir

چکیده

پهنه‌ی گسلی شاهرود با طولی حدود ۶۵ کیلومتر در البرز غربی و در پایانه‌ی جنوب‌شرقی گسله‌ی راستالغز چپ‌بر رودبار، مسبب زمین‌لرزه‌ی ویرانگر ۳۰ خرداد ۱۳۶۹ رودبار با بزرگای ۷/۳، واقع است. گسله‌ی شاهرود لرزه‌خیزی تاریخی چندانی نداشته و برای آن شیب رو به جنوب و سازوکار فشاری گزارش شده است. با توجه به بررسی‌های پیشین درباره‌ی لرزه‌خیزی و زمین‌لرزه‌های تاریخی منطقه در فاصله‌ی جدایش میان گسله‌های رودبار و شاهرود، چگونگی ارتباط این دو گسله و شناخت بیشتر گسله‌ی شاهرود اهمیت بسیاری دارد. اگر گسله‌ی شاهرود دنباله‌ی ساختاری گسله‌ی رودبار باشد، این گسله توانایی ایجاد زمین‌لرزه‌های بزرگی در شمال شهر پرجعیت قزوین را خواهد داشت. این پژوهش نخستین بررسی مستقیم لرزه‌زمین-ساختی بر روی پهنه‌ی گسلی شاهرود و ارتباط آن با گسله‌ی رودبار است. این پژوهش با تلفیق روش‌های زلزله‌شناسی (داده-های شبکه‌ی محلی لرزه‌نگاری دانشگاه تحصیلات تکمیلی زنجان) و زمین‌شناسی (برداشت‌های میدانی نوزمین‌ساختی) به گونه‌ای نوین در پی شناخت این پهنه‌ی گسلی و پاسخ به سوالات مطرح شده در باره‌ی آن است. از جمع‌بندی نتایج حاصل از داده‌های زلزله‌شناسی و تکتونیک فعال منطقه می‌توان نتیجه گرفت که گسله‌ی شاهرود با تعریف معمول آن (راندگی شاهرود) واقعیت زمین‌شناسی نداشته و در واقع از تجمیع دو پهنه‌ی گسلی شمال، شمال‌شرقی راست‌بر و شمال‌غربی – جنوب‌شرقی چپ‌بر با راستا و سازوکار متفاوت به دست آمده است که دربرهمکنش ساختاری و لرزه‌ای با همدیگر هستند.

واژه‌های کلیدی: گسله‌ی شاهرود، لرزه‌خیزی، مکان‌یابی، سازوکار کانونی، تکتونیک فعال، پهنه‌ی انتقال.

Seismotectonics of the Shahrud fault and the Shahrud – Rudbar fault relay zone

MA. Hassanzadeh[1], A. Ghods[2], E. Shabanian[3]

[1] *PhD, Geophysics, Department of Earth Sciences, Institute of Advanced Studies in Basic Sciences, Zanjan, Iran*
[2] *Associate Professor, Department of Earth Sciences, Institute of Advanced Studies in Basic Sciences, Zanjan, Iran*
[3] *Assistant Professor, Department of Earth Sciences, Institute for Advanced Studies in Basic Sciences, Zanjan, Iran*

Abstract

The Shahrud fault in western Alborz is considered as a south-dipping reverse fault extended between the longitudes of 49.5 to 50.5°E and latitudes of 36.25 to 37°N. The northwestern end of the Shahrud fault zone overlaps the southeastern termination of the left-lateral Rudbar fault zone through an offset of 10 km. There is no evidence of historical seismicity along the fault, while records of instrumental seismicity are significant within the Shahrud and Rudbar faults relay zone. Since September 2015, the Deylaman temporary local seismic network has been installed over the area by the Institute of Advanced Studies for Basic Sciences (IASBS - Zanjan) investigating the pattern and kinematics of seismicity of the area in relation with major geological structures like the Shahrud fault. During this period of time, no important seismic activity was directly observed along the fault to reveal its active kinematics. According to our seismological and active tectonic results, the traditional definition and geographic extension of the "Shahrud thrust" is geologically unreliable. The Shahrud fault zone is, in fact, a complex structural assemblage produced by both kinematic and structural interactions of two distinct NNE-striking dextral and NW-striking sinistral fault trends at the southern flank of the Shahrud Valley.

Key words: Shahrud fault, Seismicity, Single-event location, Focal mechanism, Deylaman temporary local seismic network, fault relay zone.

مقدمه

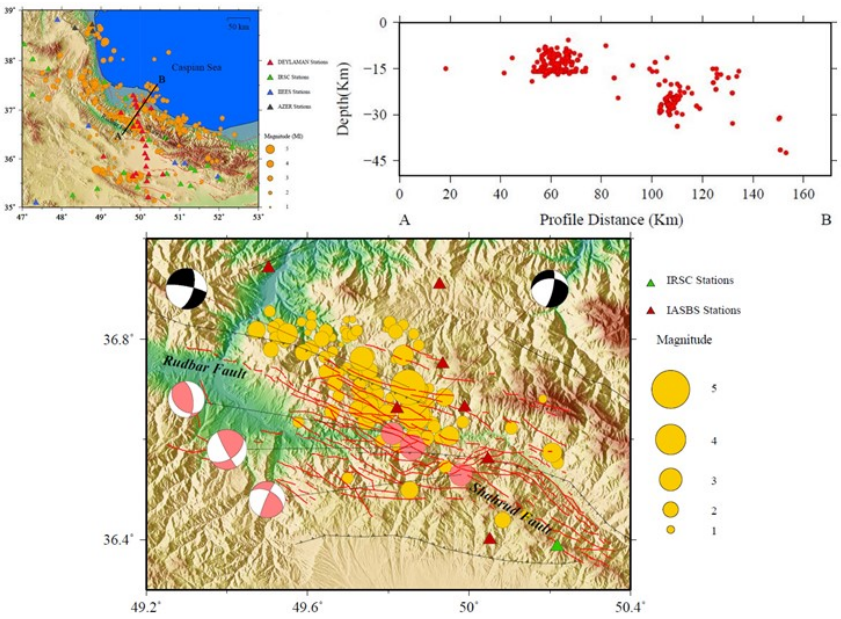
البرز یکی از ایالت‌های لرزه‌زمین‌ساختی ایران است. منطقه‌ی شاهرود-رودبار-طارم از دید لرزه‌خیزی فعال‌ترین بخش البرز غربی و دربرگیرنده گسله‌های مهم رودبار، منجیل و شاهرود است. بر پایه‌ی دانسته‌های موجود، گسله‌ی شاهرود کم و بیش

هم‌راستا با گسله‌ی رودبار و به صورت پله‌ی چپ‌دست در پایین‌دست، از پایانه‌ی جنوب‌شرقی آن آغاز شده و رو به شرق ادامه دارد؛ گسله‌ی شاهرود در نیمه طول خود رو به جنوب‌شرق تغییر راستا می‌دهد (شکل ۱). رد سطحی این گسله بیشتر بر پایه‌ی شواهد دورسنجی تصویرهای ماهواره‌ای بصورت تقریبی در کف دره‌ی شاهرود به شکل کمانی با تحدب رو به شمال‌شرق تصویر شده است (بربریان و همکاران ۱۹۹۲; بربریان و واکر، ۲۰۱۰). اگر بپذیریم گسله‌ی شاهرود گسله‌ای باشد که میان شرق و غرب آن نزدیک به ۶۰ درجه اختلاف راستا باشد، در صورت شیب‌لغز بودن بخش شرقی آن، بخش دیگر چپ‌بر خواهد بود و در صورتی که بخش شرقی آن چپ‌بر باشد، بخش غربی آن باید سازوکار کششی داشته باشد. بررسی‌های زلزله‌شناسی جدید در این پهنه (جوزی نجف آبادی، ۱۳۹۳; فریبرزی، ۱۳۹۴) نشان داده است که لرزه‌خیزی در راستای گسله‌ی رودبار و در بخش پایانی آن به صورت ابر زمین‌لرزه‌ای گسترده می‌شود. وجود زمین‌لرزه‌های تاریخی نیز نشان‌گر لرزه‌خیز بودن منطقه با بزرگاهای حتی بیش از ۷ است؛ اما تاکنون گسله‌ی شاهرود لرزه‌خیزی چندانی از خود نشان نداده است. نبود لرزه‌خیزی ممکن است نشانگر رخ دادن بی‌لرزه‌ی دگرشکلی یا انباشته شدن دگرشکلی لرزه‌ای و حتی نبود گسله باشد که در هر کدام از این احتمال‌ها اهمیت لرزه‌خیزی گسله‌ی شاهرود بسیار متفاوت خواهد بود. از سوی دیگر سازوکار زمین‌لرزه‌های روی داده در ابر لرزه‌ای میان گسله‌های رودبار و شاهرود بسیار متفاوت است و با الگوی ساده‌ی ساختاری قابل توضیح نیست. از این رو چند پرسش اصلی در این پژوهش عبارتند از (۱) هندسه دقیق و سازوکار گسله‌ی شاهرود چیست؟ (۲) آیا گسله‌ی شاهرود به عنوان دنباله‌ی ساختاری گسله‌ی زمین‌لرزه‌ای رودبار می‌تواند رویداد بزرگ دیگری را ایجاد کند؟ (۳) اختلاف هندسه ۶۰ درجه‌ای دو بخش گسلی شاهرود را چگونه می‌توان توضیح داد؟ (۴) نقش این گسله یا گسله‌های اصلی دیگر در الگوی لرزه‌خیزی منطقه چیست؟ برای پاسخ به سوال‌های مطرح شده، تلفیق بررسی‌های زلزله‌شناسی و زمین‌شناسی می‌تواند تصویر درست‌تری از سایزموتکتونیک منطقه ارائه دهد. در بخش زلزله‌شناسی، از داده‌های شبکه‌ی محلی دیلمان (IASBS) استفاده شده است. افزون بر این، از داده‌های دیگر شبکه‌های موجود در منطقه برای افزایش پوشش آزیموتی استفاده شده است (شکل ۱). در مدت داده‌برداری این شبکه (۲۲ ماه)، زمین‌لرزه‌ها مکان‌یابی و بزرگای آن‌ها نیز محاسبه شده و برای زمین‌لرزه‌های بزرگ سازوکار کانونی بدست آمده است. در بخش زمین‌شناسی، زمین‌ریخت‌ها و سیماهای مرتبط با پهنه‌های گسلی یا مشکوک به گسله، با توجه به شواهد زمین‌شناسی ساختاری، توپوگرافی و ریخت‌زمین‌ساختی تصویر و در بازدیدهای میدانی زمین‌شناسی کنترل شدند. گسله‌هایی که تاکنون شناسایی نشده بودند، شناسایی و نام‌گذاری شدند. برای نقاط برداشت سازوکار گسله‌ها بدست آمد و مدل جنبشی ارائه شد. مجموع این نتایج به ارائه یک مدل ساختاری – جنبشی برای منطقه منجر شده است.

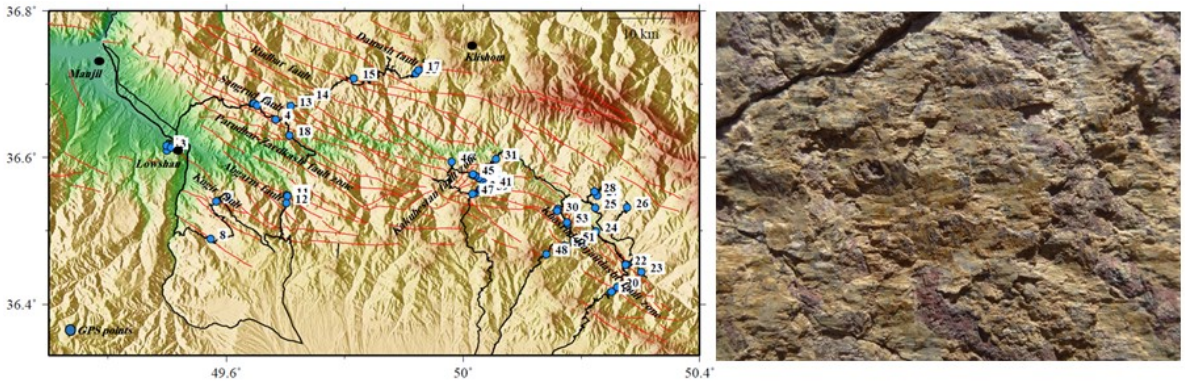
روش تحقیق

در این مطالعه از داده‌های دو روش زلزله‌شناسی و زمین‌شناسی استفاده شده است. در بخش زلزله‌شناسی داده‌برداری در ایستگاه‌ها به صورت پیوسته در بازه‌ی زمانی ۲۰۱۴/۰۹ تا ۲۰۱۶/۰۲ (شهریور ۱۳۹۳ تا اسفند ۱۳۹۴) منجر به شناسایی ۶۹۸ رویداد محلی شده است که از این میان، ۲۷۰ زمین‌لرزه مربوط به پهنه‌ی انتقال دو گسله‌ی رودبار و شاهرود است. به دلیل پوشش ایستگاهی بالا در منطقه و استفاده از شبکه‌های دایمی کشوری، زمین‌لرزه‌ها با کیفیت بالایی مکان‌یابی شده‌اند. افزون بر این، نزدیک بودن ایستگاه‌ها به زمین‌لرزه‌ها، بزرگ بودن زمین‌لرزه‌های استفاده شده، نسبت سیگنال به نویز بالا در رخدادها و تیز بودن رسید اولیه‌ی موج طولی درستی و دقت سازوکارهای کانونی محاسبه شده را به همراه داشته است (حسن‌زاده، ۱۳۹۵). سازوکار کانونی دو زمین‌لرزه با بزرگای محلی ۴/۱ و ۴/۶ رخ داده در بازه‌ی زمانی کار شبکه‌ی دیلمان، به روش اولین رسید موج طولی محاسبه شده‌اند. پروفیل عمقی برای رخدادهای پهنه‌ی انتقال دو گسله، که دقت مکان‌یابی عمق بالایی (۱۹۰ رخداد) دارند، ارائه شد (شکل ۱).

در بخش زمین‌شناسی نقشه‌های ساختاری تهیه شده در بازدید میدانی کنترل شدند. سپس با استفاده از نقشه‌های آماده شده، در بازدیدهای میدانی از گسله‌های تصویر شده در ۵۷ نقطه، راستا، شیب و خش‌لغزش برداشت شد. برای هر نقطه‌ی برداشت مدل جنبشی ارائه شد و از تلفیق همه‌ی مدل‌های جنبشی، مدل جنبشی کلی برای منطقه بدست آمد (شکل ۴). برای پهنه‌ی مورد بررسی ۴۸ سازوکار جوان زمین‌شناسی بدست آمد (شکل ۲). پهنه‌های گسلی جدیدی که تاکنون شناسایی نشده بودند، شناسایی و نام‌گذاری شدند و سازوکار آن‌ها بدست آمد.



شکل ۱) شکل بالا سمت چپ، توزیع ایستگاه‌های لرزه‌نگاری و رومرکز رخدادها. مثلث‌های قرمز ایستگاه‌های شبکه‌ی موقت IASBS، و سایر مثلث‌ها مربوط شبکه‌های منطقه‌ای هستند. شکل بالا سمت راست، پروفیل عمقی رخدادها است. شکل پایین لرزه‌خیزی و ایستگاه‌های پهنه‌ی انتقال دو گسله و سازوکارهای بررسی پیشین و این بررسی و گسله‌های شناسایی شده در این بررسی است.



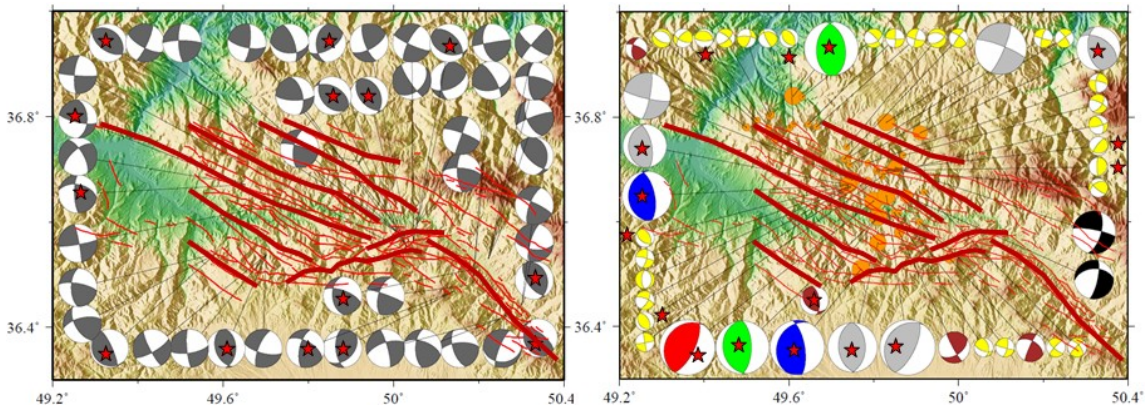
شکل ۲) شکل سمت چپ، گسله‌های شناسایی شده در پهنه‌ی انتقال میان دو گسله، نام گسله‌ها، مسیرهای پیمایش شده، نقاط برداشت شده، شماره نقاط برداشت شده و مکان‌های مهم است. شکل سمت راست نمونه‌ای از خزش‌لغزش‌های برداشت شده در ایستگاه‌ها است.

نتیجه‌گیری

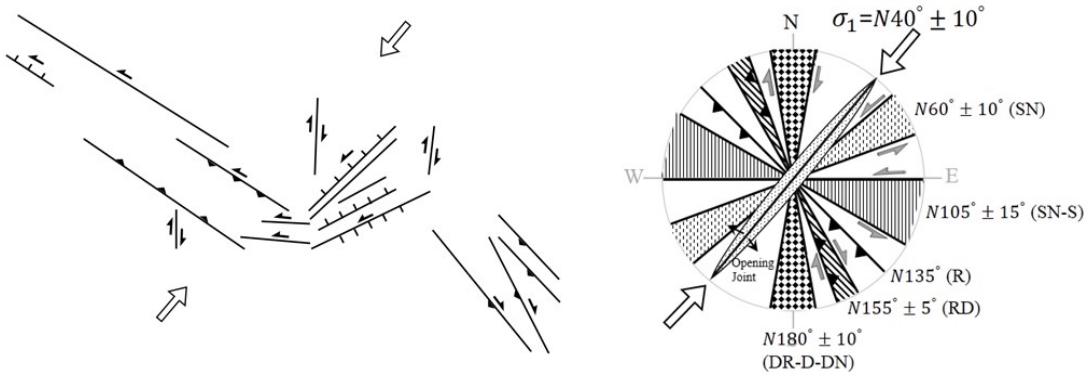
با تکیه بر داده‌های بدست آمده از دو روش زلزله‌شناسی و زمین‌شناسی در این پژوهش، گسترش هندسی لرزه‌خیزی با تعداد رخداد فراوان، نشان‌گر پیچیده بودن سامانه‌ی گسلی در آن است که بنابر نقشه‌ی گسله‌های شناسایی شده برای منطقه نیز همین نتیجه حاصل می‌شود. لرزه‌خیزی با پهن و گسترده شدن خود در پهنه‌ی جدایش دو گسله‌ی رودبار و شاهرود، این یافته‌ی زمین‌شناسی را تایید می‌کند که این پهنه یک پهنه‌ی گسلی ساده یا پله‌ی گسلی مربوط به یک یا دو روند خاص نیست بلکه یک پهنه‌ی خردشده‌ی حاصل از تاثیر روندهای مختلف برهم و سامانه‌ی گسلی پیچیده است. در مقایسه‌ی همه سازوکارهای زلزله‌شناسی موجود در منطقه و سازوکارهای زمین‌شناسی این پژوهش می‌توان دید که سازوکارهای فشاری به صورت پراکنده و در جهت شمالی-جنوبی هستند. اما دیگر سازوکارها وجود دو روند اصلی شمال‌شرقی-جنوب‌غربی و شمال-غربی-جنوب‌شرقی راستالغز را تایید می‌کند (شکل ۳). عمق رخدادها از پهنه‌ی انتقال گسله‌ها تا کناره‌ی خزر نیز در جهت شمال‌شرقی از ۱۰ کیلومتر تا ۴۵ کیلومتر افزایش پیدا می‌کند (شکل ۱).

نتایج بخش زمین‌شناسی این پژوهش نشان داد که گسله‌ی شاهرود، راندگی خمیده پیوسته نیست بلکه دارای دو بخش اصلی شرقی و غربی است. بخش شرقی با آزیموت ۱۴۰ درجه به صورت کم‌وبیش پیوسته است و به نام پهنه‌ی گسلی خسرود-رجایی‌دشت با سازوکار چیره‌ی فشاری نامگذاری می‌شود. بخش غربی، یک پهنه‌ی خردشده در میان گسله‌های چپ‌بر شمال-شرقی-جنوب‌غربی و شمال‌غربی-جنوب‌شرقی است و به نام پهنه‌ی گسلی خردشده‌ی کاکوهستان با سازوکار چیره‌ی چپ‌بر نامگذاری می‌شود. از جمع‌بندی نتایج روش‌های زلزله‌شناسی و تکتونیک فعال می‌توان نتیجه گرفت که پهنه‌ی گسلی شاهرود

متشکل از سه روند گسلی متفاوت شمال‌غرب-جنوب‌شرقی، شرقی-غربی و شمال‌شرق-جنوب‌غربی است که در برهم‌کنش ساختاری و لرزه‌ای با یکدیگر هستند و هر کدام به ترتیب دارای زمین‌لرزه‌های راستالغز چپ‌بر با مولفه‌ی فشاری، راستالغز چپ‌بر و راستالغز چپ‌بر با مولفه‌ی کششی هستند (شکل ۴).



شکل ۳) سازوکارهای کانونی زلزله‌شناسی (سمت راست)، زمین‌شناسی (سمت چپ). در شکل سمت راست زمین‌لرزه‌های مربوط به سازوکارها با دایره-های نارنجی و متناسب با بزرگای رخدادها رسم شده‌اند. سازکارهای کانونی مربوط به این پژوهش سیاه رنگ ترسیم شده‌اند. سازوکارهای بررسی‌های پیشین، به ترتیب کاتالوگ سایت جهانی CMT، بربریان و همکاران (۱۹۹۲)، جکسون و همکاران، (۲۰۰۲)، تاتار و هتزفلد، (۲۰۰۹)، بربریان و واکر (۲۰۱۰) و بررسی‌های صورت گرفته در دانشگاه تحصیلات تکمیلی زنجان (جوزی نجف آبادی، ۱۳۹۳؛ فریبرزی، ۱۳۹۴) با رنگ‌های آبی، قرمز، سبز، زرد، خاکستری و قهوه‌ای مشخص است. در شکل سمت چپ، سازوکارهای زمین‌شناسی رسم شده‌اند. خط‌های قرمز شبکه‌ی گسلی منطقه است که در این مطالعه شناسایی شده‌اند و روندهای اصلی گسلی خط‌های قرمز پررنگ هستند. سازوکارهایی که با ستاره قرمز مشخص شده‌اند، سازوکارهای فشاری هستند که روند شمالی-جنوبی داشته و در منطقه پراکنده هستند.



شکل ۴) شکل سمت راست مدل جنبشی پیشنهادی برای پهنه‌ی انتقال میان گسله‌های شاهرود و رودبار بر پایه‌ی مدل‌های جنبشی منطقه‌ای. شکل سمت چپ شکل ساده شده‌ای از روندهای اصلی گسلی و سازوکار گسلش در پهنه که نشانگر پیچیده بودن این سامانه‌ی گسلی است.

منابع

Berberian, M., et al., 1992. The Rudbar-Tarom earthquake of June 20, 1990 in NW Persia. seism. Soc. Am., 82, 1726–1755.

Berberian, M., and Walker, R., 2010. The Rudbar Mw 7.3 earthquake of 1990 June 20, Geophys. J., Int., 98, 1-26.

جوزی، ا.، ۱۳۹۳. بررسی لرزه‌زمین‌ساخت شمال ایران با داده‌های شبکه‌ی محلی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان.

حسن‌زاده، م.، ۱۳۹۵. بررسی لرزه‌زمین‌ساخت پهنه‌ی گسلی شاهرود با استفاده از داده‌های شبکه‌ی محلی و برداشت‌های میدانی نوزمین‌ساختی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان.

فریبرزی، ن.، ۱۳۹۴. بررسی لرزه‌زمین‌ساخت پهنه‌ی طارم-لاهیجان با استفاده از داده‌های شبکه‌ی محلی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تحصیلات تکمیلی علوم پایه زنجان.