



## Investigation of Geomorphology and Seismicity of Parts of Central Iran

Najime Eskandari Nesab Siahkahi <sup>1</sup> , Majid Nemati <sup>2\*</sup> , Shahram Shafiei Bafti <sup>3</sup> 

<sup>1</sup> MSc Student in Tectonics, Department of Geology and Earthquake Research Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

<sup>2\*</sup> Associate Professor, Department of Geology and Earthquake Research Group, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Geology, Shahid Bahonar University, Kerman, Kerman, Iran

### ARTICLE INFO

### ABSTRACT

#### Article History:

Received: 21 August 2022

Revised: 14 September 2022

Accepted: 24 September 2022

Available Online: 21 March 2025

#### Keywords:

Seismicity

Kuhbanan

Fault

Tectonics

Earthquake

In the following study, the tectonics and seismicity of a part of central Iran have been investigated. The study area includes Lakarkuh, Ravar, Kuhbanan, Nayband, Tabas, Posht Badam, Cheshme Rostam, Bardsir and Rafsanjan faults. In this research, firstly, tectonics and active faults of the studied area have been studied. History of seismicity in this region from Institute of Geophysics, University of Tehran was investigated, as well as monitoring the records of contemporary earthquakes in the country's seismic databases. It shows a clear sign of the activity of the Lakarkuh, Kuhbanan, Ravar, Tabas, and Nayband faults. The presence of layers displaced by faults in the northern part of the studied area in Google Earth pictures, confirms that the area is tectonically active. Small earthquakes mostly occurred around the Tabas, Nayband, Lakarkuh, Bardsir, Davaran, Kuhbanan, and Rafsanjan faults. Larger earthquakes are located in the Shahdad-Golbaf-Lekarkoh-Kohbanan-Nayband multiple fault junction. Due to mechanism of earthquakes, achieved by first P motion method and using waveform of earthquakes in Seisan software, it reveals that some segments of the Kuhbanan fault have reverse and strike slip right lateral movements. Based on the possible future earthquakes, the cities such as Tabas, Kuhbanan, Zarand, and Kerman, as well as many villages, are exposed to financial and human losses due to the sever earthquakes. After collecting all the seismic data, it was found that the surveyed area is at risk of devastating earthquakes with high intensity. Therefore, the investigations of seismology in the east of central Iran and the surface geomorphology in the north of central Iran are very important due to the seismicity of the fault movements and their aseismic movements, respectively.

\*Corresponding author: Dr. Majid Nemati

E-mail address: [nematimajid\\_1974@uk.ac.ir](mailto:nematimajid_1974@uk.ac.ir)

**How to cite this Article:** Eskandari Nesab Siahkahi, N., Nemati, M., & Shafiei Bafti, Sh. (2025). Investigation of Geomorphology and Seismicity of Parts of Central Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, ?(?), ??-??. <https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.78334.1271>



©2025 The author(s). This is an open access article distributed under Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0)



## بررسی ریخت‌زمین‌ساخت ولرززه‌خیزی بخش شمالی و جنوب خاوری ایران مرکزی

نجیم اسکندری نسب سیاهکوهی<sup>۱</sup>، مجید نعمتی<sup>۲\*</sup>، شهرام شفیع‌بافتی<sup>۳</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد تکتونیک، گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی زمین‌لرزه، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

<sup>۲\*</sup>دانشیار گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی زمین‌لرزه، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

<sup>۳</sup>دانشیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
<p><b>تاریخچه مقاله:</b></p> <p>تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۳۰</p> <p>تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۲۳</p> <p>تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۲</p>	<p>در بررسی پیش رو به بررسی ریخت‌زمین‌ساخت و ولرززه‌خیزی بخشی از ایران مرکزی پرداخته شده است. پهنه بررسی شده در برگرفته‌ی گسل‌های لکرکوه، رفسنجان، طبس، نایبند، بردسیر و کوهبنان و گسل‌های ایران مرکزی است. با تهیه نقشه‌های ولرززه‌خیزی گستره مشخص شد که این گستره پیش از دوران ثبت دستگاهی و نیز دوره دستگاهی نشانه بارزی از جنبه بودن گسل‌های لکرکوه، کوهبنان، راور، طبس و نایبند را به نمایش می‌گذارد. بررسی ریخت‌شناسی سطحی در بخش شمالی ایران مرکزی با به‌کارگیری پیکره‌های گوگل‌ارث، جابه‌جا شدن لایه‌های سطحی توسط گسل‌های جنبه را نمایش داد. این لایه‌های جابه‌جا شده در نزدیکی گسل‌های طبس، نایبند، پشت بادام و بیابانک می‌باشند. ریززمین‌لرزه‌های برگرفته شده از شبکه لرزه‌نگاری موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، بیشتر در پیرامون گسل‌های طبس، نایبند، لکرکوه، بردسیر، داوران، کوهبنان و رفسنجان روی داده‌اند. زمین‌لرزه‌های بزرگتر در پیوست چندگانه گسل‌های شهداد - گلباف - لکرکوه - کوهبنان - نایبند روی داده‌اند. با به‌کارگیری شکل موج زمین‌لرزه‌ها و کاربرد روش نخستین موج P رسیده از ایستگاه‌ها در نرم‌افزار ساینز، سازوکار تکه‌هایی از گسل‌های کوهبنان و لکرکوه برپایه حل سازوکار زمین‌لرزه‌ها، از گونه راست‌الغز راست‌بر و معکوس بوده که بیشتر در تکه‌های دیگر نیز با همین سازوکار جنبش داشته‌اند. برپایه پراکندگی زمین‌لرزه‌ها، شهرهایی مانند طبس، کوهبنان، زرنند، و شهر کرمان و همچنین روستاهای زیادی در معرض خسارت‌های مالی و جانی زیادی قرار گرفته و خواهند گرفت. بنابراین، بررسی‌های لرزه‌شناسی در خاور ایران مرکزی و ریخت‌زمین‌ساخت سطحی در شمال ایران مرکزی، به‌ترتیب به دلیل لرزه‌خیز بودن جنبش گسل‌ها و بی‌لرزه بودن جنبش آنها بسیار مهم می‌باشد.</p>
<p><b>کلمات کلیدی:</b></p> <p>لرزه‌خیزی</p> <p>کوهبنان</p> <p>گسل</p> <p>تکتونیک</p> <p>زمین‌لرزه</p>	

## مقدمه

پهنه ایران که با گسل‌های جنب، چین‌خوردگی‌ها، فعالیت آتشفشانی، سرزمین‌های کوهستانی و ضخامت‌های متفاوت پوسته‌ای مشخص شده، در طول تاریخ زمین لرزه‌های مخرب بسیاری را شاهد بوده که نتیجه آنها از دست رفتن جان و مال افراد زیادی بوده است. زمین‌ساخت جنوبی ایران در پیوند با هم‌گرایی صفحه اوراسیا و صفحه عربستان است. در قرن‌های گذشته، مردم ایران تقریباً هر ده سال، دست‌کم تجربه یک زمین‌لرزه با بزرگای بیشتر از ۷/۰ و هر دو سال یک بار، یک زمین‌لرزه با بزرگای ۶/۰ تا ۷/۰ را داشته‌اند. زمین‌لرزه‌ها در ایران مرکزی و خاور ایران پراکندگی نایک‌نواختی داشته و بیشتر در کمربندهای کوه‌زایی و چین‌خوردگی‌های تراسی که بلوک‌های تغییر شکل نیافته، بدون لرزه و مقاوم را احاطه کرده‌اند، رخ داده است (Berberian, 2005).

زمین‌لرزه‌های ایران مرکزی و خاور ایران در دو گستره، فشرده‌گی زیادی دارند؛ گستره دشت‌بیاض در شمال بیرجند و گستره گلباف در جنوب کرمان. در همسایگی گستره لرزه‌خیز دشت‌بیاض، زمین‌لرزه ویران ۱۹۷۸ طبس با بزرگای ۷/۴ روی داده که دارای ۸۵ کیلومتر گسیختگی سطحی با سازوکار معکوس بوده است. این زمین‌لرزه در پی رشد یا فراخاست کوه‌های شتری در شمال پایانه گسل نایبند روی داده است (Berberian, 1978). گسل کوهبنان با راستای شمال‌باختری- جنوب‌خاوری و سازوکار راستالغز راست‌بر نیز خاستگاه زمین‌لرزه‌های زیادی بوده است. زمین‌لرزه سال ۲۰۰۵ زرنند کرمان با سازوکار معکوس، با یک گسل زمین‌لرزه‌ای خاوری- باختری و با بزرگای گشتاوری ۶/۴ در بخش جنوبی گسل کوهبنان و در پی جابه‌جایی راستالغز راست‌بر این گسل روی داده است (Walker, Jackson & Baker, 2004). سه زمین‌لرزه در ۱۲ دسامبر ۲۰۱۷ با بزرگای ۶/۲، ۶/۱، ۶/۱، در نزدیکی هجدک (شمال خاوری کرمان) رخ داد. این زمین‌لرزه‌ها در پایانه جنوبی گسل لکرکوه رخ داده‌اند. این زمین‌لرزه‌های و پس لرزه‌های آنها نشان دهنده مهاجرت گسیختگی از جنوب خاوری به سوی شمال باختری بود (Nemati, Hajati, Rashidi & Hassanzadeh, 2020).

تفسیرهای لرزه‌زمین‌ساختی نیازمند داشتن نقشه لرزه‌خیزی و سازوکار دقیق زمین‌لرزه‌ها به ویژه زمین‌لرزه‌های بزرگ بوده که کاربردهای زیادی دارد. سازوکار زمین‌لرزه‌ها بیان‌گر چگونگی جابه‌جایی دو بلوک پیرامون گسل در کانون زمین‌لرزه‌است. از روی سازوکار زمین‌لرزه‌ها در یک گستره لرزه‌خیز به روند کلی جابه‌جایی پوسته زمین پی برده می‌شود (Nemati, 2018).

از کارهای انجام شده همانند موضوع این پژوهش می‌توان به کارهای جکسون و مک‌نزی (Jackson & McKenzie, 1984) در جهان و مرادی و همکاران (Moradi, Hatzfeld & Tatar, 2011) در ایران اشاره نمود. در کار نخست، بیش از ۸۰ حل سازوکار زمین‌لرزه، همراه با تصاویر ماهواره‌ای و همچنین لرزه‌خیزی دوره مدرن و تاریخی، گسلش و تکتونیک جنب در خاورمیانه در گستره غرب ترکیه و پاکستان بررسی شده است. مرادی و همکاران (Moradi, Hatzfeld & Tatar, 2011) نیز با حل سازوکار خردلرزه‌های گسل شمال تبریز به راست‌بر بودن و نزدیک به قائم بودن شیب این گسل پی بردند. گستره بررسی شده در این پژوهش در ایران مرکزی جای دارد. در ایران مرکزی و خاور ایران نیز می‌توان به کارهای لرزه‌شناسی نعمتی و همکاران (Nemati, et al., 2020) روی گسل لکرکوه و زمین‌لرزه‌های ۲۰۱۷ هجدک ( $M_w \sim 6.0$ ) و کار زمین‌شناسی و ریخت‌زمین‌ساخت سطحی فتاحی و همکاران (Fattahi, Walker, Talebian, Sloan & Rasheedi, 2011) روی گستره رفسنجان و پیرامون اشاره نمود. در ایران مرکزی، بخشی از جنبش‌های جوان گسل‌ها نیز توسط بیگی و همکاران (Beygi, Nadimi & Safaei, 2016) بررسی شده است. نعمتی و عباس‌نژاد (Nemati & Abbasnejad, 2021) نیز زمین‌ریخت‌شناسی و زمین‌ساخت جنب وابسته به گسل‌های استان کرمان را بررسی نموده‌اند. این بررسی‌ها ریخت‌زمین‌ساخت سطحی برخی از لایه‌ها و گسل‌ها را نیز دربر می‌گیرد. در این پژوهش سعی شده با توجه به اینکه در مقالات گوناگون ریخت‌زمین‌ساخت سطحی گسل کوهبنان بررسی شده است (Radfar & Pourkermani, 2006)، سازوکار برخی از زمین‌لرزه‌های این گسل و گسل‌های پیرامون که بررسی نشده یا به روش‌های دیگر بررسی شده‌اند و همچنین چند فعالیت‌های تکتونیکی جوان ایران مرکزی را که بیشتر شناخته شده نبودند، بررسی شود. گستره در دست بررسی در ایران مرکزی را از دیدگاه لرزه‌خیزی می‌توان به دو گستره باختری و خاوری (هر دو جنب) دسته‌بندی نمود. جنبش گستره خاوری به‌گونه لرزه‌خیز و گستره باختری تقریباً

بی‌لرزه است. از دیدگاه لرزه‌خیزی، چون گستره باختری ایران مرکزی اصلاً لرزه‌خیزی کمی دارد، بنابراین کوشش شده که در صورت داشتن تغییرات سطحی ژئومورفولوژی، بیشتر به کمک این روش بررسی گردد.

### مواد و روش‌ها

نخستین کار پایه‌ای برای انجام تحلیل خطر لرزه‌خیزی، تهیه کاتالوگ زمین‌لرزه‌ها در گستره است. بنابراین، لازم است کلیه کاتالوگ‌های زمین‌لرزه‌ها، که کامل‌ترین اطلاعات از زمین‌لرزه‌های تاریخی (قبل از ۱۹۰۰ میلادی) و دستگاهی (بعد از ۱۹۰۰ میلادی) را دارند، در اختیار داشته باشیم. این داده‌ها را به ترتیب از آمبراسیس و ملویل (Ambraseys & Melville, 2005) و موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران برگرفته شدند.

یکی از روش‌های کارآمد به دست آوردن سازوکار زمین‌لرزه‌ها، به کارگیری قطبش پرتوهای P زمین‌لرزه است. در این روش که برای خرد لرزه‌ها در همه بزرگاها و همه فواصل روکانونی نیز انجام پذیر است، قطبش پرتوهای P زمین‌لرزه‌ها روی دایره سازوکار به کمک دو صفحه گسلی و عمود بر آن جدا شده و سازوکار زمین‌لرزه حل می‌گردد. روی این دایره دو گستره فشاری با ایستگاه‌هایی با قطبش بالا (فشاری) و دو گستره کششی با قطبش پایین (کششی) هستند. در تحلیل سازوکار کانونی، معمولاً کانون زمین‌لرزه را به صورت یک نقطه در نظر می‌گیریم و در این نقطه به گونه نظری یک سیستم نیرو شامل دو جفت نیرو فرض می‌شود که به آن الگوی دو زوجی معادل گفته می‌شود. در این الگو، دو جفت نیرو در خلاف جهت یکدیگرند و از نظر بزرگی مساوی هستند. این نیروها در حول نقطه کانونی، گشتاور حاصل از یک‌دیگر را خنثی می‌کنند. این مدل را می‌توان با یک سیستم نیرو شامل محورهای کششی T در گستره فشاری و محورهای فشاری P در گستره کششی جایگزین کرد، به گونه‌ای که دو نیرو به سوی کانون (P) و دو نیرو به سوی خارج از کانون (T) امتداد داشته باشند (Stein & Wysession, 2009). در این پژوهش پس از تهیه نقشه لرزه‌خیزی سازوکار شماره ۹ زمین‌لرزه از ۲۰۰۶ تاکنون حل شده و بررسی می‌شوند.

اگرچه، در گستره لرزه‌خیز خاور ایران مرکزی، طبیعتاً بررسی‌های لرزه‌خیزی اولویت دارند، در گستره تقریباً بی‌لرزه باختر ایران مرکزی نیز ریخت‌زمین‌ساخت گستره و جابه‌جایی لایه‌ها با به‌کارگیری پیکره‌های ماهواره‌ای گوگل‌ارث بررسی شده است.

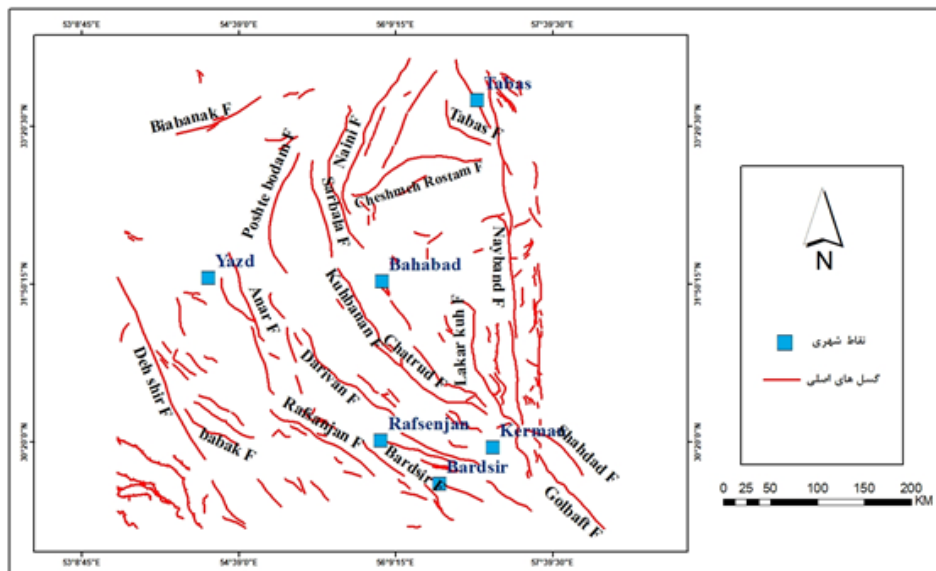
### منطقه مورد مطالعه

گستره بررسی شده، بخشی از ایران مرکزی بوده و استان‌های کرمان، یزد و بخشی از خراسان جنوبی را در برمی‌گیرد. این گستره دارای گسل‌های زیادی است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به گسل کوهبنان، لکرکوه، نایبند، گلباف، طبس و... اشاره کرد. این گستره در طول‌های جغرافیایی بین ۵۳ درجه ۳۳ دقیقه تا ۵۷ درجه و ۵۳ دقیقه خاوری و عرض‌های جغرافیایی ۲۹ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۳۳ درجه و ۸۶ دقیقه شمالی جای دارد (شکل ۱).

(الف)



(ب)



شکل ۱- گستره بررسی شده (الف) همراه با شهرها و گسل‌های مهم (ب)

**Fig.1.** Surveyed area (a) with major cities and faults (b)

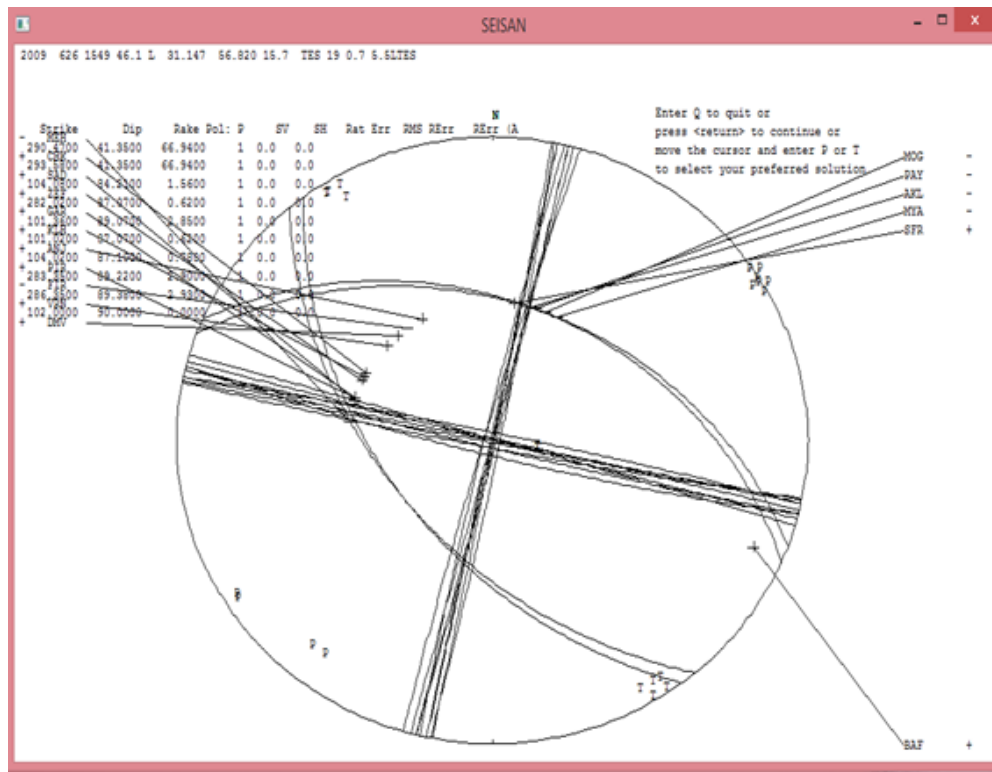
### روش تحقیق

برای بدست آوردن سازوکار زمین‌لرزه‌ها در گستره، از داده‌های ثبت شده توسط ایستگاه‌های مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران که روی سایت<sup>۱</sup> این مؤسسه قرار داده شده است، به‌کارگیری شده است. این داده‌ها شامل شکل موج زمین‌لرزه‌های ثبت شده از تاریخ ۲۰۰۶/۰۱/۰۱ تا تاریخ ۲۰۲۲/۱۲/۰۱ با بزرگای بزرگتر از ۴/۰ هستند. داده‌ها را که ابتدا به صورت Y-file و به شکل zip file روی

1- <http://irsc.ut.ac.ir/istn.php>



سایت موسسه ژئوفیزیک می‌باشند، برای هر زمین‌لرزه چندین داده (به دلیل اینکه هر ایستگاه می‌تواند در سه راستای قائم، شمال-جنوب و خاور-باختر ۳ مؤلفه موج برای هر زمین‌لرزه به ما بدهد و با توجه به تعداد ایستگاه‌ها، تعداد زیادی داده لرزه‌ای برای هر زمین‌لرزه خواهیم داشت) به فرمت y-file دریافت می‌کنیم. آن‌ها را جداگانه در سیستم عامل داس و بوسیله دستورهای ویژه‌ای فایل‌های هر زمین‌لرزه را به فرمت نرم‌افزار ساین تبدیل فرمت می‌کنیم (Abre Dari & Mansouri, 2009). این نرم‌افزار یک نرم‌افزار متشکل از برنامه‌های رایانه‌ای مختلف بوده و این برنامه‌ها که هرکدام کار متفاوتی روی زمین‌لرزه‌ها انجام می‌دهند، برپایه زبان برنامه‌نویسی فرترن کار می‌کنند. این نرم‌افزار فایل‌های متنی حاوی زمان رسید فازهای لرزه‌ای (اس‌فایل) و همچنین شکل موج زمین‌لرزه‌ها را با فرمت مخصوص به خود به‌عنوان ورودی می‌خواند. این نرم‌افزار دارای قابلیت‌ها و توانایی‌های بسیاری مانند به‌دست آوردن بزرگا، بررسی طیفی زمین‌لرزه، کانون‌یابی و حل سازوکار زمین‌لرزه‌ها است.



شکل ۲- یک نمونه سازوکار تجمعی: سازوکار زمین لرزه ۲۶/۰۶/۲۰۰۹. این زمین‌لرزه روی تکه میانی گسل لکرکوه روی داده است.

**Fig.2.** An example of an accumulation mechanism: the mechanism of the 26/06/2009 earthquake. This earthquake occurred on the middle segment of the Lakirkhu fault.

زمین لرزه‌ها برپایه تاریخ سال و ماه در پوشه ویژه خود ذخیره می‌کنیم. برای هر موج یک زمین لرزه برپایه شکل موج پلاریته فشارشی و کششی را انتخاب می‌کنیم و بعد از اتمام موج‌های یک زمین لرزه با کمینه کردن خطاها و تعداد درجه آزادی، شمار حل‌های به‌دست آمده را به‌دست آورده و در پایان دایره سازوکار ترسیم می‌گردد (شکل ۲).  
 با به‌کارگیری این روش حل سازوکار زمین لرزه، سازوکار ۹ زمین لرزه با بزرگای بالای ۴/۰ به‌دست آورده شد. همچنین، برای بخش شمالی گستره با به‌کارگیری گوگل ارث جابه‌جایی لایه‌ها را در ۵ گستره به‌دست آورده‌ایم. با به‌کارگیری داده‌های موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و نرم‌افزار Arc Gis نقشه لرزه‌خیزی گستره نیز مورد بحث قرار گرفت.

## بحث و نتایج

### زمین‌ریخت‌شناسی

مجموعاً چهارپنجم سطح ایران را رشته چین‌خوردگی‌های زاگرس و البرز فراگرفته‌اند. بخش مرکزی ایران از زمین‌های پست تشکیل شده که برخی بخش‌هایی از آن ساختارهای زمین‌ساختی درهم و پیچیده دارند. در این بخش‌ها بریدگی‌ها و شکست‌هایی وجود دارند که شن‌زارها و نمک‌زارهای بزرگ در میان آن‌ها تکوین یافته‌اند. یکی از راه‌های بررسی گستره‌های جنب‌و‌بی‌لرزه مانند باختر ایران مرکزی، بررسی تغییرات ریخت‌شناسی سطحی است. شکل ۳ موقعیت لایه‌های جابه‌جا شده توسط گسل‌ها را در ایران مرکزی نشان می‌دهد.



شکل ۳- موقعیت لایه‌های جابه‌جا شده توسط گسل‌ها

**Fig.3.** Location of layers displaced by faults

دلیل بررسی جابه‌جایی لایه‌ها نشان دادن جنبش‌های جوان است. چون گسل‌ها لایه‌های جوان را جابه‌جا کرده‌اند پس گسل‌ها نیز جوان هستند. در این پژوهش لایه‌هایی که توسط گسل‌ها بریده و جابه‌جا شده‌اند، آورده شده‌اند. در پیکره‌های ۴ تا ۸، مقیاس در گوشه پایین و راست پیکره آورده شده است.

شکل ۴ جابه‌جایی یک لایه را که در ۷۱ کیلومتری جنوب باختری شهرستان طیس رخ داده است، نشان می‌دهد (شماره ۱). اندازه این جابه‌جایی ۳/۱۹ کیلومتر برآورد شده و به‌گونه راست‌بر است. به‌گمان، این جابه‌جایی توسط شاخه‌های شمالی گسل کوهبنان انجام شده است.

در شکل ۵ در نزدیکی گسل پشت‌بادام رخ داده‌است (شماره ۲). اندازه این جابه‌جایی ۱/۰۹ کیلومتر بوده و به‌گونه راست‌بر است. در این پیکره‌ها گسل با خم آبی و لایه با خم قرمز نشان داده شده است.



شکل ۴- جابه‌جایی لایه در موقعیت شماره یک باتوجه به شکل ۳

**Fig.4.** Displacement of the layer at position number one according to Fig. 3

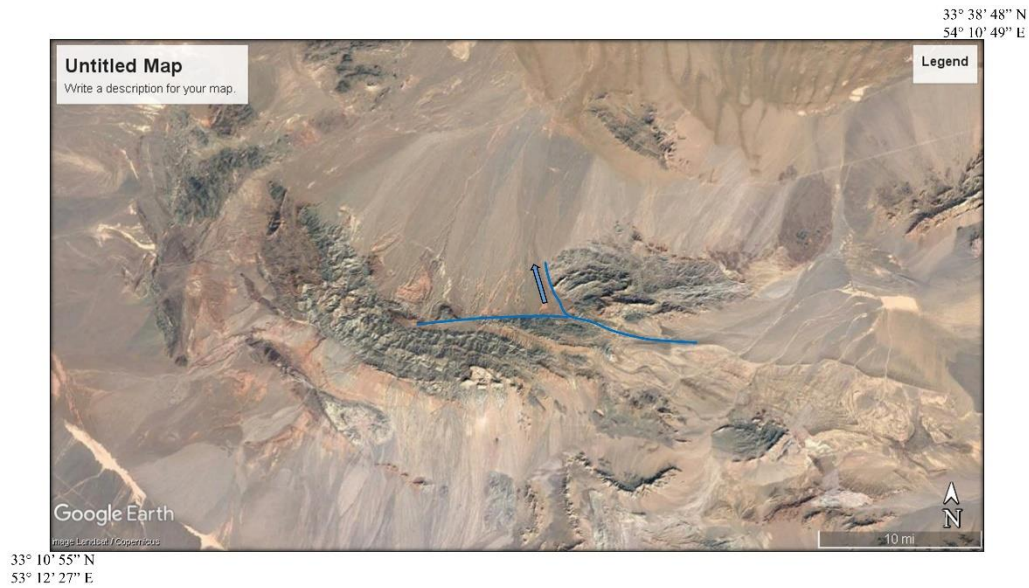


شکل ۵- جابه‌جایی لایه در موقعیت شماره دو باتوجه به شکل ۳

**Fig.5.** Displacement of the layer at position number two according to Fig. 3

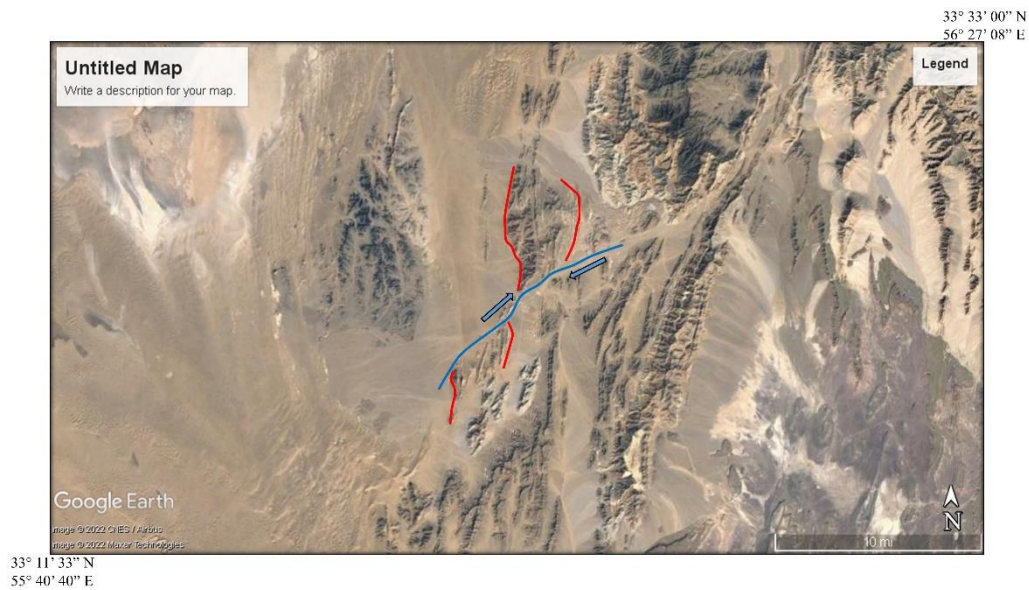
جابه‌جایی شماره ۳ در شکل ۶ نشان داده شده است. این جابه‌جایی در شمال باختری گستره و در پایانه گسل دهشیر رخ داده است. اندازه این جابه‌جایی ۳/۹۶ کیلومتر برآورد شده است. در آن بلوک شمالی توسط گسل (خم آبی) به سوی شمال خاور رانده شده است.



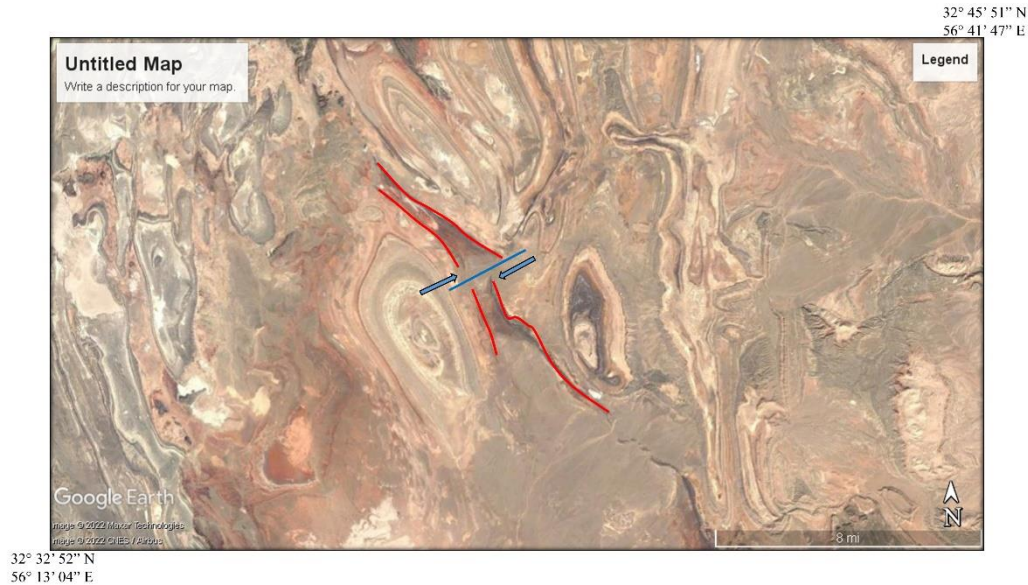


شکل ۶- جابه‌جایی لایه در موقعیت شماره سه با توجه به شکل ۳  
**Fig.6.** Layer displacement at position number three according to Fig. 3

این جابه‌جایی که در شکل ۷ نشان داده شده است (شماره ۴)، در ۸۳ کیلومتری باختر شهرستان طبس روی داده‌است. اندازه این جابه‌جایی که راست‌بر می‌باشد، ۵ کیلومتر بوده است. برآورد این جابه‌جایی‌ها به کمک مقیاس فاصله‌ای گوگل‌ارث انجام شده است.



شکل ۷- جابه‌جایی لایه در موقعیت شماره چهار با توجه به شکل ۳  
**Fig.7.** Displacement of the layer at position number four according to Fig. 3



شکل ۸- جابه‌جایی لایه در موقعیت شماره پنج باتوجه به شکل ۳

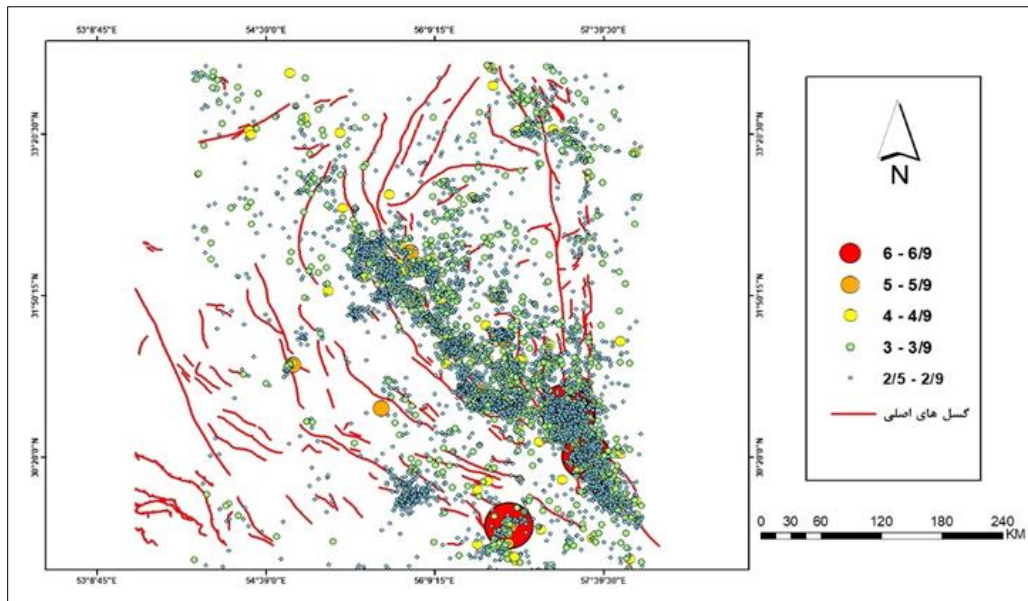
**Fig.8.** Layer displacement at position number five according to Fig 3

شکل ۸ جابه‌جایی شماره ۵ را نشان می‌دهد که در آن گسل، لایه‌های چین‌ها را جابه‌جایی کرده است. این جابه‌جایی در ۹۷ کیلومتری شمال خاوری شهرستان بهاباد است. اندازه این جابه‌جایی ۱/۲۳ کیلومتر بوده و به‌گونه راست‌بر است.

### لرزه‌خیزی

با توجه به شکل ۹، شمار ۶۴۹۶ زمین‌لرزه در گستره مورد بررسی در بازه زمانی پس از سال ۲۰۰۶ رخ داده‌است. با توجه به قانون گوتنبرگ- ریشتر و اینکه شمار رخداد زمین‌لرزه‌ها با بزرگای رابطه عکس دارند (شمار زمین‌لرزه‌های روی داده با بزرگای کمتر، بیشتر است)، می‌توان گفت که بیش‌ترین زمین‌لرزه‌ها با بزرگای کمتر از ۴/۰ هستند. زمین‌لرزه‌های با بزرگای ۴/۰ تا ۵.۵ بیش‌تر در خاور گستره مورد بررسی رخ داده‌اند. بیش‌تر زمین‌لرزه‌ها در بخش شمالی ایران مرکزی روی گسل کوهبنان و همچنین در پیرامون گسل لکرکوه رخ داده‌اند. خرد زمین‌لرزه‌ها در کل، بیشتر در پیرامون گسل‌های طبس، ناپیند، لکرکوه، گلباف، بردسیر، داوران، کوهبنان و رفسنجان روی داده‌اند.

این نقشه با به‌کارگیری داده‌های موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران ترسیم شده است و اینکه خطای میانگین این زمین‌لرزه‌ها ۵ کیلومتر می‌باشد، این زمین‌لرزه‌ها احتمالاً بیشتر وابسته به گسل‌های لکرکوه، گلباف و کوهبنان می‌باشند. بزرگترین زمین‌لرزه‌های گستره، زمین‌لرزه‌های ۱۹۲۳ بردسیر (M ۵/۵)، ۱۹۸۱ گلباف (M ۷/۱) و ۲۰۱۷ همدک (M ۶/۱) (نشان‌گرهای بزرگ قرمز) هستند. همان‌گونه که در نقشه می‌بینیم، باختر ایران مرکزی لرزه‌خیزی چندانی ندارد.



شکل ۹- زمین لرزه های با بزرگای بیش تر از ۲.۵، به همراه گسل های مهم گستره مورد بررسی با به کارگیری داده های موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران از سال ۲۰۰۶ تا سال ۲۰۲۲

**Fig.9.** Earthquakes with a magnitude greater than 2.5, along with important faults in the studied area, using data from the Institute of Geophysics, University of Tehran, from 2006 to 2022.

### سازوکار زمین لرزه ها

درواقع یکی از جنبه های زمین ساخت جنبا وجود زمین لرزه ها بوده و مهم ترین ویژگی زمین لرزه ها سازوکار آن ها است. در این پژوهش، پس از بررسی و پردازش امواج زمین لرزه ها از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ سازوکار کانونی ۹ زمین لرزه به دست آمد. برای حل سازوکارها تعداد پلاریته های بالای ۸ و خطای پلاریته ها کمتر از ۲ و همچنین بزرگای بین ۴/۰ تا ۵/۸ را بررسی نمودیم. نبود آزیموتی یا Azimuth همه زمین لرزه ها کمتر از ۱۸۴ بوده که عدد قابل قبولی است. این پارامتر نشان می دهد پوشش ایستگاهی زمین لرزه تا چه اندازه قابل قبول است (هرچه کمتر باشد پوشش ایستگاهی و دقت موقعیت زمین لرزه بیشتر است). مشخصات این زمین لرزه ها در جدول ۱ آمده است:

این ۹ زمین لرزه دقیق ترین و بهترین سازوکارها و کمترین خطا را داشته اند. در پایان همه سازوکار زمین لرزه ها روی نقشه گستره پیاده می شوند. تجمع بیش تر زمین لرزه ها در بخش خاور گستره مورد بررسی و در نزدیکی گسل کوهبنان و لکرکوه است (شکل ۱۰). RMS زمین لرزه ها نیز خطای زمانی آنها است.

### سازوکار زمین لرزه شماره یک (۲۰۰۶/۱۰/۰۹)

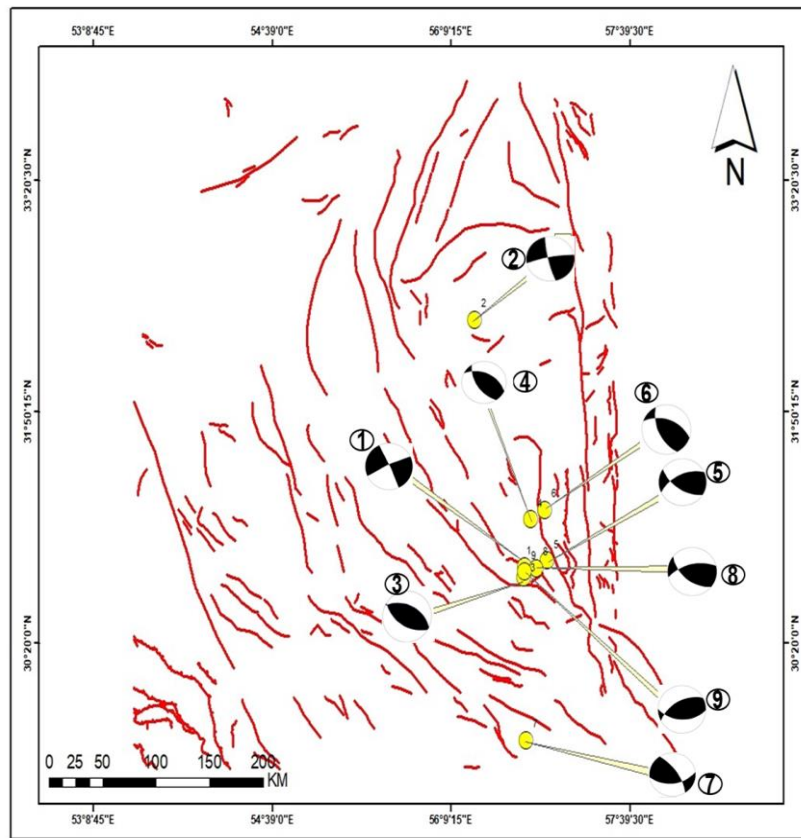
این زمین لرزه در تاریخ ۲۰۰۶/۱۰/۰۹ و در عرض ۳۰/۸ و طول ۷۷/۵۶ درجه جغرافیایی با بزرگای ۴/۹ در ۲۰ کیلومتری خاور شهرستان زرنند و در نزدیکی گسل کوهبنان روی داده است. روند این گسل شمال باختری - جنوب خاوری می باشد. سازوکار این زمین لرزه از گونه راستالغز راست بر و شیب گسل در این ناحیه قائم می باشد.



**جدول ۱-** فهرست زمین لرزه‌هایی که سازوکار آنها در این پژوهش بدست آمده است. در این جدول AG، CF، SS، RL، PR و R به ترتیب مخفف نبود آزیموتی (Azimuth gap)، گسل مسبب (Causative fault)، راست‌الغز (Strike slip)، راست‌بر (Right lateral)، معکوس خالص (Pure reverse) و معکوس (Reverse) می‌باشند.

**Table 1** - List of earthquakes whose mechanisms were obtained in this study. In this table, AG, CF, SS, RL, PR, and R stand for Azimuth gap, Causative fault, Strike slip, Right lateral, Pure reverse, and Reverse, respectively

NO	Date	Lat (°N)	Long (°E)	Depth (km)	Mag (M <sub>N</sub> )	RMS (Sec)	AG (°)	CF	Mechanism
1	10/9/2006	30.8	56.8	10	4.9	0.4	131	Kuhbanan	SS-RL
2	12/2/2008	32.4	56.4	19/9	4.5	0.5	125	-	SS-RL
3	3/7/2009	30.8	56.8	8.3	4.3	0.3	129	Kuhbanan	PR
4	6/26/2009	31.1	56.8	5	4.3	0.4	126	LakarKuh	R-SS-RL
5	1/26/2010	30.9	57	21.2	4.3	0.4	133	LakarKuh	R-SS-RL
6	3/1/2010	31.2	56.9	4	4	0.4	184	LakarKuh	R-SS-RL
7	7/31/2010	29.7	56.8	4	5.8	0.4	110	-	R-SS-RL
8	9/15/2010	30.8	56.8	6.7	4.5	0.5	97	Kuhbanan	R-SS-RL
9	12/16/2011	30.8	56.8	6	4.1	0.4	92	Kuhbanan	PR



شکل ۱۰- نقشه موقعیت و سازوکار زمین لرزه‌های ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱

**Fig. 10.** Map of the location and mechanism of earthquakes from 2006 to 2011



**سازوکار زمین لرزه شماره دو (۲۰۰۸/۱۲/۰۲)**

این زمین لرزه در تاریخ ۲۰۰۸/۱۲/۰۲ و در عرض جغرافیایی ۳۲/۴۴ و طول ۵۶/۳۵ درجه جغرافیایی، با بزرگای ۴/۵ در ۷۱ کیلومتری شمال خاوری شهرستان بهاباد و در نزدیکی شمال گسل کوهبنان روی داده است (جدول ۱). سازوکار این زمین لرزه از گونه راستالغز راستبر (با راستای گسلی (NNW-SSE) و شیب گسل در این ناحیه قائم می باشد.

**سازوکار زمین لرزه شماره سه (۲۰۰۹/۰۳/۰۷)**

این زمین لرزه در تاریخ ۲۰۰۹/۰۳/۰۷ و در عرض ۳۰/۷۶ درجه و طول ۵۶/۷۶ درجه جغرافیایی، با بزرگای ۴/۳ در ۵ کیلومتری خاور روستای داهویییه (زرنند) و در نزدیکی گسل کوهبنان روی داده است. سازوکار این زمین لرزه از گونه معکوس خالص بوده (NW-SE) و شیب گسل در این ناحیه نزدیک به ۷۰ درجه به دست آمده است.

**سازوکار زمین لرزه شماره چهار (۲۰۰۹/۰۶/۲۶)**

این زمین لرزه در تاریخ ۲۰۰۹/۰۶/۲۶ در عرض ۳۱/۱۴ درجه و طول ۵۶/۸۲ درجه جغرافیایی، با بزرگای ۴/۳ در ۱۳ کیلومتری جنوب شهرستان راور و در نزدیکی خم جنوبی گسل لکرکوه رویداده است. سازوکار این زمین لرزه از گونه معکوس و یک مولفه راستالغز کوچک هم دارد.

**سازوکار زمین لرزه شماره پنج (۲۰۱۰/۰۱/۲۶)**

این زمین لرزه در تاریخ ۲۰۱۰/۰۱/۲۶ و در عرض ۳۰/۸۷ و طول ۵۶/۹۶ درجه جغرافیایی، با بزرگای ۴/۳ در ۳۶ کیلومتری شمال خاور شهرستان زرنند و در جنوب گسل کوهبنان رویداده است. سازوکار این زمین لرزه راستبر با مولفه معکوس (با راستای گسلی NW-SE) می باشد.

**سازوکار زمین لرزه شماره شش (۲۰۱۰/۰۳/۰۱)**

این زمین لرزه در تاریخ ۲۰۱۰/۰۳/۰۱ و در عرض ۳۱/۲۰ و طول ۵۶/۹۴ درجه جغرافیایی، با بزرگای ۴/۰، در ۱۳ کیلومتری خاور شهرستان راور و در خم شمالی گسل لکرکوه رویداده است. سازوکار این زمین لرزه از نوع معکوس (NNW-SSE) بوده و مولفه امتداد لغز کوچک هم دارد.

**سازوکار زمین لرزه شماره هفت (۲۰۱۰/۰۷/۳۱)**

این زمین لرزه در تاریخ ۲۰۱۰/۰۷/۳۱ و در عرض ۲۹/۷۰ و طول ۵۶/۷۸ درجه جغرافیایی، با بزرگای ۵/۸ در ۱۱ کیلومتری شمال روستای قلعه عسگر واقع در جنوب شهرستان بردسیر رخ داده است. این زمین لرزه به گمان در اثر فعالیت گسل لاله زار و یا سایر گسل های فرعی سوی شمال آن رخ داده است. سازوکار این زمین لرزه از نوع معکوس (NW-SE) و مولفه امتداد لغز کوچک راستبر هم دارد.

**سازوکار زمین لرزه شماره هشت (۲۰۱۰/۰۹/۱۵)**

این زمین لرزه در تاریخ ۲۰۱۰/۰۹/۱۵ و در عرض ۳۰/۸۲ و طول ۵۶/۸۹ درجه جغرافیایی، با بزرگای ۴/۵، در ۲۹ کیلومتری خاور شهرستان زرنند و در نزدیکی جنوب گسل کوهبنان روی داده است. سازوکار این گسل از نوع معکوس و مولفه امتداد لغز کوچک هم دارد (NW-SE).

**سازوکار زمین لرزه شماره نه (۲۰۱۱/۱۲/۱۶)**

این زمین لرزه در تاریخ ۲۰۱۱/۱۲/۱۶ در عرض ۳۰/۸۰ و طول ۵۶/۷۷ درجه جغرافیایی، با بزرگای ۴/۱ و در ۱۹ کیلومتری خاور شهرستان زرنند و نزدیکی جنوب گسل کوهبنان روی داده است. سازوکار این زمین لرزه از نوع معکوس خالص می باشد. راستای گسل در این گستره خاوری باختری به دست آمده است.

## نتیجه گیری

### زمین‌ریخت‌شناسی

از بررسی جابه‌جایی لایه‌ها توسط گسل‌ها در مناطق شمالی گستره بررسی شده می‌توان نتیجه گرفت که گسل‌های جوان باعث جابه‌جایی لایه‌ها شده و این گستره‌ها از دیدگاه تکتونیکی جنبا می‌باشند. این جابه‌جایی لایه‌ها در جنوب باختری و باختر شهرستان طبس، در نزدیکی گسل پشت‌بادام، در شمال خاوری شهرستان بهاباد و همچنین در بخش شمال باختری ایران مرکزی رخ داده‌اند. اگرچه، این نکته مهم را نباید از نظر دور نگه داشت که، بیشتر گسل‌ها ممکن است هر دو شیب لغز و امتداد لغز را داشته باشند، که در تصاویر ماهواره‌ای مولفه شیب‌لغز زیاد قابل تشخیص نیست، بنابراین ممکن است هر نوع گسلی باشد. همچنین، اشکال مدور می‌توانند پیامد نفوذ گنبد نمکی باشد، بنابراین نفوذ گنبد‌های نمکی هم می‌تواند باعث شکل‌گیری گسل‌های فرعی شود.

### لرزه‌خیزی

ایران مرکزی نسبت به خاور ایران، البرز، زاگرس و آذربایجان از لرزه‌خیزی کمتری برخوردار است. با توجه به نقشه لرزه‌خیزی بیشتر زمین‌لرزه‌ها در بخش خاور گستره ایران مرکزی و در پیرامون گسل‌های کوهبنان، لکرکوه، گلباف و نایبند روی داده‌اند. زمین‌لرزه‌های بزرگ و خردلرزه‌های زیادی در پیوست سه گانه گسل‌های شهداد - گلباف - لکرکوه - کوهبنان - نایبند روی داده‌اند. چند زمین‌لرزه با بزرگای میانه و خردلرزه‌های بسیار پراکنده در باختر ایران مرکزی روی داده‌اند.

### سازوکار زمین‌لرزه‌ها

از میان کل زمین‌لرزه‌ها، تنها ۹ زمین‌لرزه با بزرگای میانه دارای داده‌های از دیدگاه کمی و کیفی برای حل سازوکار مناسب بودند. از میان این زمین‌لرزه‌ها، زمین‌لرزه نخست در تاریخ ۲۰۰۶/۱۰/۰۹ با بزرگای ۴/۹ در ۲۰ کیلومتری خاور شهرستان زرنند و در نزدیکی گسل کوهبنان، دومی، در ۲۰۰۸/۱۲/۰۲ با بزرگای ۴/۵ در ۷۱ کیلومتری شمال خاوری شهرستان بهاباد و در نزدیکی شمال گسل کوهبنان، زمین‌لرزه‌ای در تاریخ ۲۰۰۹/۰۳/۰۷ با بزرگای ۴/۳ در ۵ کیلومتری خاور روستای داهوییه (زرنند) و در نزدیکی گسل کوهبنان، زمین‌لرزه‌ای در تاریخ ۲۰۰۹/۰۶/۲۶ با بزرگای ۴/۳ در ۱۳ کیلومتری جنوب شهرستان راور و در نزدیکی خم شمالی (سازوکار معکوس) گسل لکرکوه، زمین‌لرزه‌ای در تاریخ ۲۰۱۰/۰۱/۲۶ با بزرگای ۴/۳ در ۳۶ کیلومتری شمال خاور شهرستان زرنند (نزدیک به روکانون زمین‌لرزه ۲۰۰۵) و در جنوب گسل کوهبنان، زمین‌لرزه‌ای در تاریخ ۲۰۱۰/۰۳/۰۱ با بزرگای ۴/۰ در ۱۳ کیلومتری خاور شهرستان راور و در خم شمالی گسل لکرکوه، زمین‌لرزه‌ای دیگر در تاریخ ۲۰۱۰/۰۷/۳۱ با بزرگای ۵/۸ و در ۱۱ کیلومتری شمال روستای قلعه عسگر واقع در جنوب شهرستان بردسیر (نزدیک به روکانون زمین‌لرزه‌های ۱۹۲۳ و ۲۰۱۰) رخ داده، زمین‌لرزه‌ای نیز در تاریخ ۲۰۱۰/۰۹/۱۵ با بزرگای ۴/۵ بازم در ۲۹ کیلومتری خاور شهرستان زرنند و در نزدیکی جنوب گسل کوهبنان روی داده و سرانجام زمین‌لرزه‌ای در تاریخ ۲۰۱۱/۱۲/۲۶ با بزرگای ۴/۱ و در ۱۹ کیلومتری خاور شهرستان زرنند و نزدیکی جنوب گسل کوهبنان روی داده است. جنوب گسل کوهبنان میزبان زمین‌لرزه‌های با بزرگای ۴/۰ تا ۵/۸ بوده است. سازوکار بیشتر این زمین‌لرزه‌ها معکوس و راست‌لغز راست‌بر با یک پهنه گرهی هم‌راستا با گسل‌های کوهبنان و لکرکوه می‌باشد. از امتیازات این پژوهش حل سازوکارها با روشی متفاوت و عدم تکیه بر روش‌های پیشین برای تفسیرهای لرزه‌زمین‌ساختی می‌باشد. حل بیشتر سازوکارها با این روش با اندکی تفاوت در شیب، راستا و لغزش گسل‌ها، تا اندازه زیادی موید روش‌های پیشین بوده و حل این سازوکارها در تناقض با حل دیگر زمین‌لرزه‌ها در این گستره نیست.

سازوکارهای بدست آمده از زمین‌لرزه‌ها و سازوکار زمین‌شناسی سطحی گسل‌ها نشان می‌دهد، بیشتر زمین‌لرزه‌ها وابسته به گسل کوهبنان و لکرکوه بوده و سازوکار آن را تایید می‌کنند. معمولاً در لرزه‌شناسی، برای منطقی بودن محاسبات، رفتار زمین را از

دیدگاه لرزه‌ای در گذشته و آینده یکسان فرض می‌کنند که اگرچه فرض کاملاً درستی نیست، منطقی است. با توجه به این موضوع و پس از بررسی‌های دقیق‌تر می‌توان گفت رخداد این زمین‌لرزه‌ها در گستره بررسی شده در شرایط کنونی نشان‌گر این موضوع مهم است که این گستره در خطر رخداد زمین‌لرزه‌های آینده ویران‌گر با شدت زیاد می‌باشد. چرا که با رخداد زمین‌لرزه‌های اخیر، گمان اینکه تکه‌های بزرگتری از گسل‌های لکرکوه و کوهبنان جنبا شوند زیاد می‌باشد.

### سپاسگزاری

از گروه پژوهشی زمین‌لرزه دانشگاه شهید باهنر کرمان، موسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، و پژوهشگاه بین‌المللی زلزله‌شناسی و مهندسی زلزله به دلیل در اختیار گذاردن داده‌های ایستگاه‌های لرزه‌ای خود سپاس‌گزاری می‌شود.

### References

- Abre Dari, S. H., & Mansouri, R. (2009). Data Conversion and Practical Introduction to SEISAN Seismic Data Analysis Software. Tehran: Danesh Negar Publications. [In Persian]
- Ambraseys, N. N., & Melville, C. P. (2005). *A history of Persian earthquakes*. Cambridge University Press.
- Berberian, M. (1978). Tabas-e-Golshan (Iran) catastrophic earthquake of 16 September 1978; a preliminary field report. *Disasters*, 2(4), 207-219. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7717.1978.tb00099.x>
- Berberian, M. (2005). The 2003 Bam urban earthquake: a predictable seismotectonic pattern along the western margin of the rigid Lut block, southeast Iran. *Earthquake Spectra*, 21(1\_suppl), 35-99. <https://doi.org/10.1193/1.2127909>
- Beygi, S., Nadimi, A., & Safaei, H. (2016). Tectonic history of seismogenic fault structures in Central Iran. *Journal of Geosciences*, 61(2), 127-144. <http://doi.org/10.3190/jgeosci.212>
- Fattahi, M., Walker, R. T., Talebian, M., Sloan, R. A., & Rasheedi, A. (2011). The structure and late Quaternary slip rate of the Rafsanjan strike-slip fault, SE Iran. *Geosphere*, 7(5), 1159-1174. <http://dx.doi.org/10.1130/GES00651.1>
- Jackson, J., & McKenzie, D. (1984). Active tectonics of the Alpine—Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal International*, 77(1), 185-264. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1984.tb01931.x>
- Moradi, A. S., Hatzfeld, D., & Tatar, M. (2011). Microseismicity and seismotectonics of the North Tabriz fault (Iran). *Tectonophysics*, 506(1-4), 22-30. <https://dx.doi.org/10.1016/j.tecto.2011.04.008>
- Nemati, M. (2018). Fundamentals of Seismology with a Special Look at Seismology in Iran. Shahid Bahonar University of Kerman Press. [In Persian]
- Nemati, M., & Abbasnejad, A. (2021). Geomorphology and active tectonic related to the faults in Kerman Province, SE Iran. *Journal of Tectonics*, 5(17), 74-92. [In Persian] <https://doi.org/10.22077/jt.2021.4176.1109>
- Nemati, M., Hajati, F. J., Rashidi, A., & Hassanzadeh, R. (2020). Seismology of the 2017 Hojedk earthquakes (MN 6.0–6.1), Kerman province, SE Iran. *Tectonophysics*, 780, 228398. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2020.228398>
- Radfar, S., & Pourkermani, M. (2006). Morphotectonic of Kuhbanan Fault. *Scientific Quarterly Journal of Geosciences*, 15(58), 166-183. [In Persian] [https://www.gsjournal.ir/article\\_213910.html](https://www.gsjournal.ir/article_213910.html)
- Stein, S., & Wysession, M. (2009). *An introduction to seismology, earthquakes, and earth structure*. John Wiley & Sons.
- Walker, R., Jackson, J., & Baker, C. (2004). Active faulting and seismicity of the Dasht-e-Bayaz region, eastern Iran. *Geophysical Journal International*, 157(1), 265-282. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2004.02179.x>