



Morphotectonic and Seismicity Investigation in the Northern and Southeastern of Central Iran

Najime Eskandari Nesab Siahkahi¹, Majid Nemati^{2*}, Shahram Shafiei Bafti³

¹ M.Sc. Student, Department of Geology and Earthquake Research Department, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

^{2*} Professor, Department of Geology and Earthquake Research Group, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

³ 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:

Morphotectonic
Seismotectonics
Focal Mechanism
Active Faults
Neotectonics
Central Iran

In the present study, the tectonics and seismicity of a part of central Iran were investigated. The study area includes the Lakarkuh, Ravar, Kuhbanan, Nayband, Tabas, Posht Badam, Cheshme Rostam, Bardsir, and Rafsanjan faults. In this research, the tectonic setting and active faults of the study area were first examined. The history of seismicity in this region, based on data from the Institute of Geophysics, University of Tehran, was reviewed, along with records of contemporary earthquakes from national seismic databases. These data show clear evidence of activity along the Lakarkuh, Kuhbanan, Ravar, Tabas, and Nayband faults. The presence of fault-displaced layers in the northern part of the study area, as observed in Google Earth imagery, confirms ongoing tectonic activity. Small earthquakes mostly occurred around the Tabas, Nayband, Lakarkuh, Bardsir, Davaran, Kuhbanan, and Rafsanjan faults, while larger earthquakes were concentrated at the Shahdad–Golbaf–Lakarkuh–Kuhbanan–Nayband multiple-fault junction. Analysis of earthquake mechanisms, using the first P-motion method and waveform modeling in Seisan software, revealed that some segments of the Kuhbanan fault exhibit reverse and right-lateral strike-slip movements. Based on potential future earthquakes, cities such as Tabas, Kuhbanan, Zarand, and Kerman, as well as many villages, are highly vulnerable to human and financial losses due to severe earthquakes. After compiling all seismic data, it was concluded that the surveyed area is at risk of devastating, high-intensity earthquakes. Therefore, seismological investigations in the eastern part of central Iran and surface geomorphological studies in the northern part of central Iran are crucial for understanding both the seismic and aseismic movements of faults in the region.

*Corresponding author: Dr. Majid Nemati

E-mail address: nematimajid_1974@uk.ac.ir

How to cite this Article: Eskandari Nesab Siahkahi, N., Nemati, M., & Shafiei Bafti, S. (2025). Morphotectonic and Seismicity Investigation in the Northern and Southeastern Central Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 14(3), 55-71. <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)

EXTENDED ABSTRACT

Introduction

The Iranian plateau, characterized by active faults, folding, volcanism, mountainous terrains, and variable crustal thickness, has historically been the site of numerous destructive earthquakes, caused by the convergence between the Eurasian and Arabian plates. In recent centuries, large-magnitude seismic events have occurred regularly, with seismicity concentrated in Central and Eastern Iran (removed "the"), particularly along orogenic belts such as the Dasht-e-Bayaz and Golbaf seismic zones. Notable events, including the 1978 Tabas, 2005 Zarand, and 2017 Hojedk earthquakes, underscore the importance of earthquake focal mechanism analysis in understanding crustal deformation patterns. Previous investigations, both global and regional, have examined active structures such as the Nayband, Kuhbanan, and Lakarkuh faults (corrected from *Lekarkuh*), integrating seismotectonic, geomorphic, and geological approaches. This study focuses on the Kuhbanan Fault and adjacent structures, assessing focal mechanisms of previously underexplored earthquakes and identifying young tectonic movements within the eastern and western sectors of Central Iran. While the eastern sector is seismically active, the western sector exhibits low seismicity, where geomorphological indicators become particularly valuable for detecting neotectonic activity.

Study Area

The investigated region forms part of Central Iran, encompassing the provinces of Kerman, Yazd, and portions of South Khorasan. This area contains numerous active faults, among which the Kuhbanan, Lakarkuh, Nayband, Golbaf, and Tabas faults are the most prominent. Geographically, the study area is located between longitudes 53°33'E and 57°53'E, and latitudes 29°59'N and 33°86'N (replaced "to" with "and" for precision).

Materials and Methods

Seismic hazard assessment was initiated by compiling a comprehensive earthquake catalog, incorporating historical events (pre-1900) from Ambraseys and Melville (2005) and instrumental records (post-1900) from the Institute of Geophysics, University of Tehran. Focal mechanisms were determined for nine earthquakes (2006–present) using P-wave first-motion polarity analysis, applying the double-couple model with P- and T-axes, following the approach of Stein and Wysession (2009). While seismotectonic analysis was prioritized in the active eastern sector of Central Iran, geomorphic and structural mapping using Google Earth imagery was employed to investigate neotectonic features in the low-seismicity western sector.

Discussion and Results

Approximately four-fifths of Iran is occupied by the folded mountain belts of the Zagros and Alborz ranges, while Central Iran comprises low-lying areas with complex tectonic structures. In the low-seismicity western sector of Central Iran, geomorphic evidence such as offsets of young strata along faults was used to infer neotectonic activity. Examples include a 3.19 km right-lateral displacement southwest of Tabas, likely associated with the northern branches of the Kuhbanan Fault, and a 1.09 km right-lateral offset near the Posht-Badam Fault.

Since 2006, a total of 6,496 earthquakes have been recorded in the study area, the majority with magnitudes below 4.0 and concentrated mainly in the eastern sector near the Kuhbanan and Lakarkuh faults. Major events include the 1923 Bardsir (M 5.5), 1981 Golbaf (M 7.1), and 2017 Hojedk (M 6.1) earthquakes. Focal mechanism analysis of nine well-constrained earthquakes (2006–2011) revealed a clustering of seismicity in the eastern part of the study area, highlighting the role of the Kuhbanan and Lakarkuh faults in accommodating active tectonic deformation.

Conclusions

Analysis of young stratal displacements in the northern and western parts of Central Iran indicates an active tectonic regime, with major structures such as the Kuhbanan and Lekarkuh faults playing a dominant role. Although the region's overall seismicity is lower than that of other tectonic provinces in Iran, most earthquakes are concentrated in its eastern sector near these principal faults. Among recorded events, nine moderate-magnitude earthquakes had sufficient data for focal mechanism analysis, predominantly showing reverse and right-lateral strike-slip motion consistent with the orientation of the Kuhbanan and Lekarkuh faults. The findings suggest a significant potential for future large and destructive earthquakes, particularly if larger fault segments become reactivated.



بررسی ریخت‌زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی بخش شمالی و جنوب خاوری ایران مرکزی

نجیم اسکندری نسب سیاهکوهی^۱، مجید نعمتی^{۲*}، شهرام شفيعی بافتی^۳

^۱دانشجوی کارشناسی ارشد تکتونیک، گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی زمین‌لرزه، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

^{۲*}استاد گروه زمین‌شناسی و گروه پژوهشی زمین‌لرزه، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

^۳دانشیار گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

اطلاعات مقاله	چکیده
تاریخچه مقاله:	در بررسی پیش‌رو به بررسی ریخت‌زمین‌ساخت و لرزه‌خیزی بخشی از ایران مرکزی پرداخته شده است. پهنه بررسی شده در برگیرنده گسل‌های لکرکوه، رفسنجان، طبس، نایبند، بردسیر و کوهبنان و گسل‌های ایران مرکزی است. با تهیه نقشه‌های لرزه‌خیزی گستره، مشخص شد که این گستره، پیش از دوران ثبت دستگاهی و نیز دوره دستگاهی نشانه بارزی از جنبا بودن گسل‌های لکرکوه، کوهبنان، راور، طبس و نایبند را به نمایش می‌گذارد. بررسی ریخت‌شناسی سطحی در بخش شمالی ایران مرکزی با به کارگیری پیکره‌های گوگل‌ارث، جابه‌جا شدن لایه‌های سطحی توسط گسل‌های جنبا را نمایش داد. این لایه‌های جابه‌جا شده در نزدیکی گسل‌های طبس، نایبند، پشت بادام و بیابانک می‌باشند. ریززمین‌لرزه‌های برگرفته شده از شبکه لرزه‌نگاری مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران، بیشتر در پیرامون گسل‌های طبس، نایبند، لکرکوه، بردسیر، داوران، کوهبنان و رفسنجان روی داده‌اند. زمین لرزه‌های بزرگتر در پیوست چندگانه گسل‌های شهداد - گلباف - لکرکوه - کوهبنان - نایبند روی داده‌اند. با به کارگیری شکل موج زمین‌لرزه‌ها و کاربرد روش نخستین موج P رسیده از ایستگاه‌ها در نرم‌افزار ساینز، سازوکار تکه‌هایی از گسل‌های کوهبنان و لکرکوه بر پایه حل سازوکار زمین‌لرزه‌ها، از گونه راست‌الغز راست‌بر و معکوس بوده که بیشتر در تکه‌های دیگر نیز با همین سازوکار جنبش داشته‌اند. بر پایه پراکندگی زمین لرزه‌ها، 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، به ترتیب به دلیل لرزه‌خیز بودن جنبش گسل‌ها و بی‌لرزه بودن جنبش آنها بسیار مهم می‌باشد.
تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۵/۳۰	
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۲۳	
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۷/۰۲	
کلمات کلیدی:	
مورفوتکتونیک	
سایزمو تکتونیک	
مکانیسم کانونی	
گسل‌های فعال	
نئوتکتونیک	
ایران مرکزی	

مقدمه

پهنه ایران که با گسل‌های جنب، چین‌خوردگی‌ها، فعالیت آتشفشانی، سرزمین‌های کوهستانی و ضخامت‌های متفاوت پوسته‌ای مشخص شده، در طول تاریخ، زمین‌لرزه‌های 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 دشت بیاض در شمال بیرجند و گستره گلباف در جنوب کرمان. در همسایگی گستره لرزه‌خیز دشت بیاض، 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 زرن 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 زمین‌لرزه‌ها 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 زمین‌لرزه است. 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~۶/۰) 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 در برمی‌گیرد. 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.

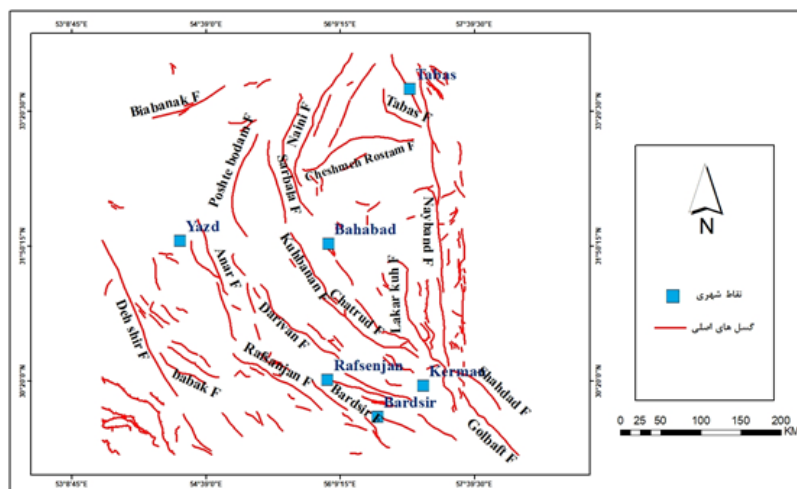
منطقه مورد مطالعه

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 کوهینان، لکرکوه، نایبند، گلیاف، 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)

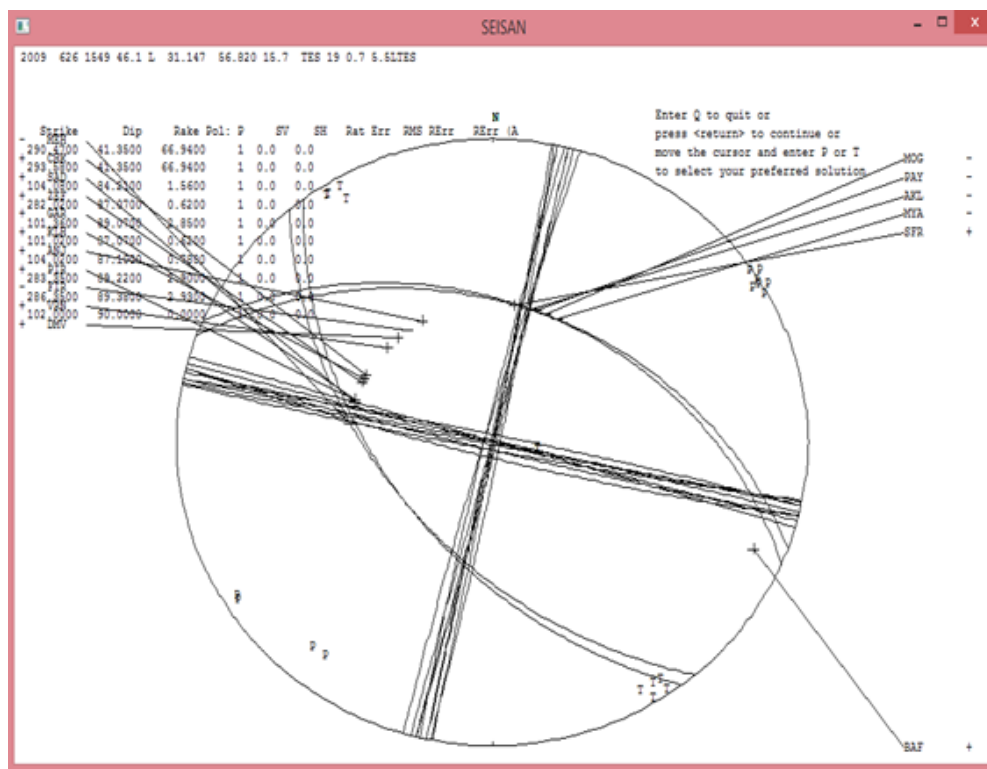
Fig.1. The study area (a) with major cities and faults (b)

مواد و روش‌ها

نخستین کار پایه‌ای برای انجام تحلیل خطر ولرزه‌خیزی، 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 مؤسسه 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 خردلرزه‌ها در همه بزرگاها و همه فواصل روکانونی نیز انجام‌پذیر 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 به‌گونه 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، به‌گونه‌ای 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 ولرزه‌خیزی سازوکار شماره ۹ زمین‌لرزه از ۲۰۰۶ تاکنون حل شده و بررسی می‌شوند.

اگرچه در گستره ولرزه‌خیز خاور ایران مرکزی، طبیعتاً بررسی‌های ولرزه‌خیزی اولویت دارند، در گستره تقریباً بی‌لرزه باختر ایران مرکزی ریخت‌زمین‌ساخت گستره و جابه‌جایی لایه‌ها با به‌کارگیری پیکره‌های ماهواره‌ای گوگل‌ارث نیز بررسی شده است. برای به دست آوردن سازوکار زمین‌لرزه‌ها در گستره، از داده‌های ثبت شده، توسط ایستگاه‌های مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران که روی سایت^۱ این مؤسسه قرار داده شده است، استفاده کردیم. 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 سایت مؤسسه 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 سپس آن‌ها را جداگانه در سیستم عامل داس و به وسیله دستورهای ویژه‌ای فایل‌های هر زمین‌لرزه 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، بر پایه زبان برنامه‌نویسی فرتن 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 به دست آوردن بزرگا، بررسی طیفی زمین‌لرزه، کانون‌یابی و حل سازوکار زمین‌لرزه‌ها است.



شکل ۲- یک نمونه سازوکار تجمعی؛ سازوکار زمین لرزه ۲۶/۰۶/۲۰۰۹. این زمین لرزه 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 را بر پایه تاریخ سال و ماه در پوشه ویژه خود ذخیره می‌کنیم؛ برای هر موج یک زمین لرزه بر پایه شکل موج پلاریته فشارشی و کششی انتخاب می‌کنیم و بعد از اتمام موج‌های یک زمین لرزه با کمینه کردن خطاها و تعداد درجه آزادی، شمار حل‌های به دست آمده را به دست آورده و در پایان دایره سازوکار را ترسیم می‌کنیم (شکل ۲).

با به کارگیری این روش حل سازوکار زمین لرزه، سازوکار ۹ زمین لرزه با بزرگای بالای ۴/۰ به دست آورده شد. همچنین، برای بخش شمالی گستره با به کارگیری گوگل‌ارث جابه‌جایی لایه‌ها را در ۵ گستره به دست آورده‌ایم. با به کارگیری داده‌های مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران و نرم‌افزار Arc Gis نقشه لرزه‌خیزی گستره نیز مورد بحث قرار گرفت.

نتایج و بحث

زمین‌ریخت‌شناسی

در مجموع 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 جنب و بی‌لرزه مانند باختر ایران مرکزی، بررسی تغییرات ریخت‌شناسی سطحی است. شکل ۳، موقعیت لایه‌های جابه‌جا شده توسط گسل‌ها در ایران مرکزی نشان می‌دهد.



شکل ۳- موقعیت لایه های جابه جا شده توسط گسل ها

Fig.3. Location of layers displaced by faults

دلیل بررسی جابه جایی لایه ها نشان دادن جنبش های جوان است. چون گسل ها، لایه های جوان را جابه جا کرده اند پس گسل ها نیز جوان هستند. در این پژوهش لایه هایی که توسط گسل ها بریده و جابه جا شده اند، آورده شده اند. در پیکره های ۴ تا ۸، مقیاس در گوشه پایین و راست پیکره، آورده شده است.

شکل ۴، جابه جایی یک لایه را که در ۷۱ کیلومتری جنوب باختری شهرستان طبس رخ داده است، نشان می دهد (شماره ۱). اندازه این جابه جایی ۳/۱۹ کیلومتر برآورد شده و به گونه راست بر است. به گمان، این جابه جایی توسط شاخه های شمالی گسل کوهبنان انجام شده است.

در شکل ۵، در نزدیکی گسل پشت بادام رخ داده است (شماره ۲). اندازه این جابه جایی ۱/۰۹ کیلومتر بوده و به گونه راست بر است. در این پیکره ها گسل با خم آبی و لایه با خم قرمز نشان داده شده است.



شکل ۴- جابه‌جایی لایه در موقعیت شماره یک با توجه به شکل ۳

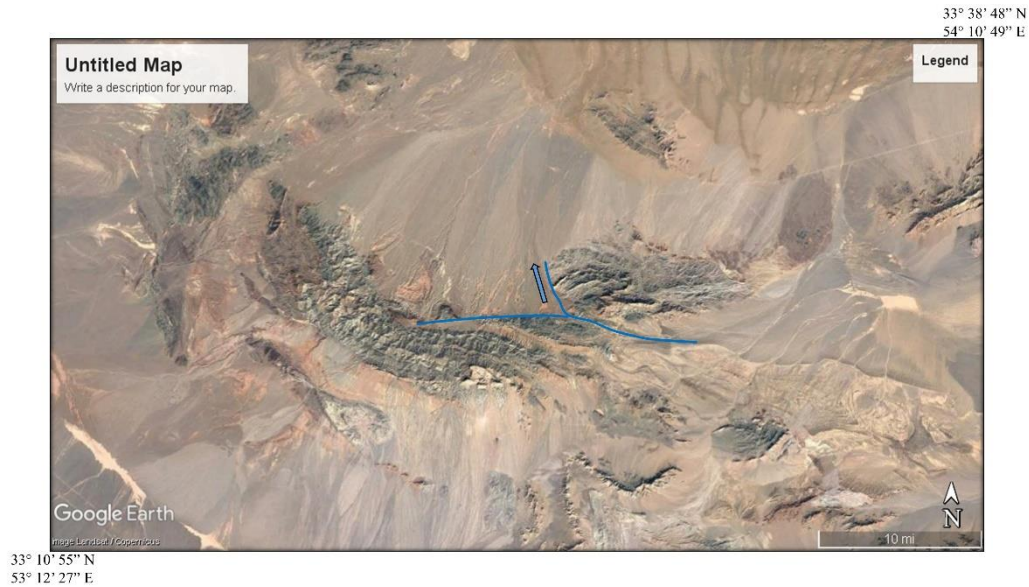
Fig.4. Displacement of the layer at position number one according to Fig. 3



شکل ۵- جابه‌جایی لایه در موقعیت شماره دو با توجه به شکل ۳

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

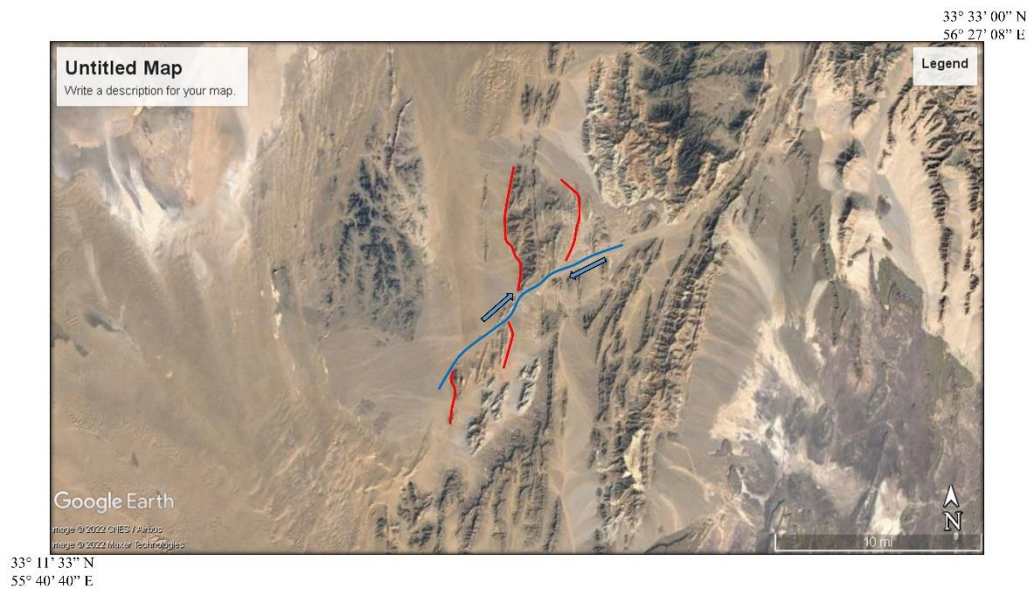
جابه‌جایی شماره ۳ در شکل ۶ نشان داده شده است. این جابه‌جایی در شمال باختری گستره و در پایانه گسل دهشیر رخ داده است. اندازه این جابه‌جایی ۳/۹۶ کیلومتر برآورد شده است. در آن بلوک شمالی توسط گسل (خم آبی) به سوی شمال خاور رانده شده است.



شکل ۶- جابه‌جایی لایه در موقعیت شماره سه با توجه به شکل ۳

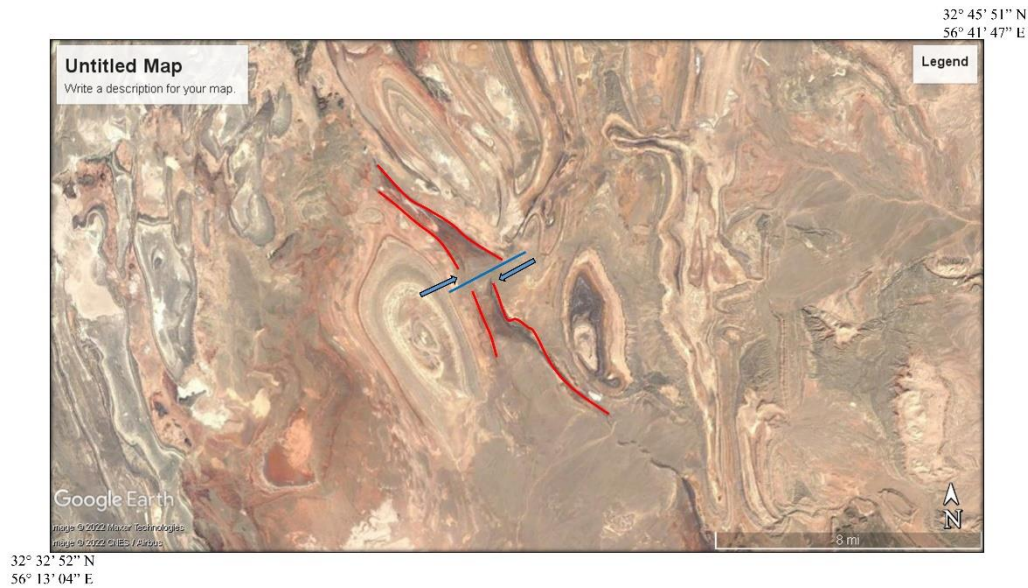
Fig.6. Layer displacement at position number three according to Fig. 3

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



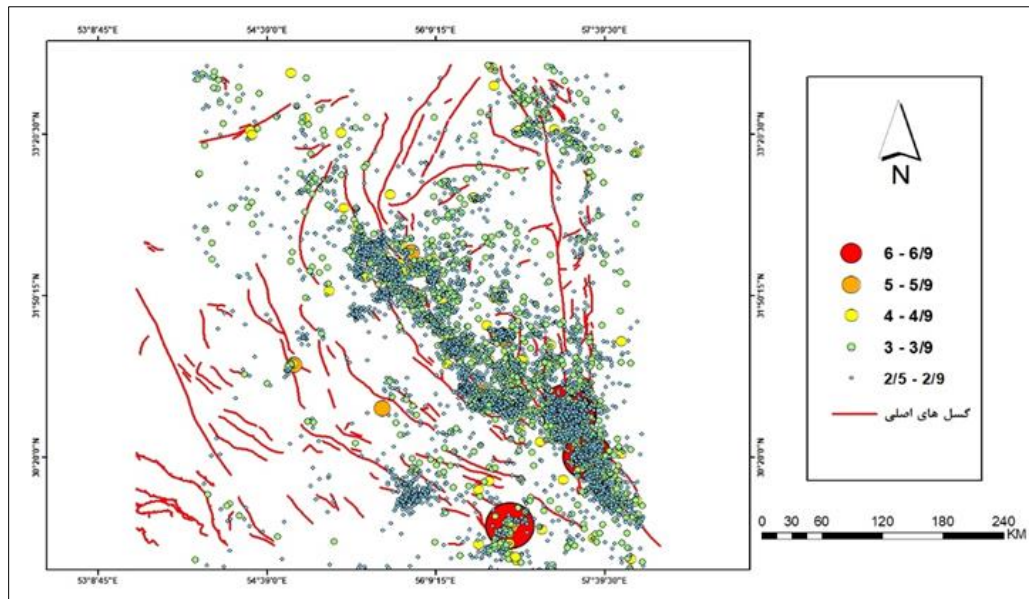
شکل ۸- جابه‌جایی لایه در موقعیت شماره پنج با توجه به شکل ۳
Fig.8. Layer displacement at position number five according to Fig 3

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 داده است. 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 بیشتر این 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، نایبند، لکرکوه، گلباف، بردسیر، داوران، کوهبنان و رفسنجان روی داده‌اند.

این نقشه با به‌کارگیری داده‌های مؤسسه 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 هجدک (M ۶/۱) (نشان‌گرهای بزرگ قرمز) هستند. همان‌گونه که در نقشه می‌بینیم، باختر ایران مرکزی لرزه‌خیزی چندانی ندارد.



شکل ۹- زمین‌لرزه‌های با بزرگای بیش از ۲.۵، به همراه گسل‌های مهم گستره مورد بررسی با به‌کارگیری داده‌های مؤسسه 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 زمین‌لرزه‌ها

در واقع یکی از جنبه‌های زمین‌ساخت جنبا وجود زمین‌لرزه‌ها بوده و مهم‌ترین ویژگی زمین‌لرزه‌ها سازوکار آنها است. در این پژوهش، پس از بررسی و پردازش امواج زمین‌لرزه‌ها از سال ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۱ سازوکار کانونی ۹ زمین‌لرزه به‌دست آمد. برای حل سازوکارها تعداد پلاریته‌های بالای ۸ و خطای پلاریته‌های کمتر از ۲ و همچنین بزرگای بین ۴/۰ تا ۵/۸ را بررسی نمودیم. نبود آزیموتی یا Azimuth همه زمین‌لرزه‌ها کمتر از ۱۸۴ بوده که عدد قابل قبولی است. این پارامتر نشان می‌دهد پوشش ایستگاهی زمین‌لرزه تا چه اندازه قابل قبول است (هرچه کمتر باشد پوشش ایستگاهی و دقت موقعیت زمین‌لرزه بیشتر است). مشخصات این زمین‌لرزه‌ها در جدول ۱ آمده است:

این ۹ زمین‌لرزه دقیق‌ترین و بهترین سازوکارها و کمترین خطا را داشته‌اند. در پایان همه سازوکار زمین‌لرزه‌ها روی نقشه گستره پیاده می‌شوند. تجمع بیشتر زمین‌لرزه‌ها در بخش خاور گستره مورد بررسی و در نزدیکی گسل کوهبنان و لکرکوه است (شکل ۱۰). RMS زمین‌لرزه‌ها نیز خطای زمانی آنها است.

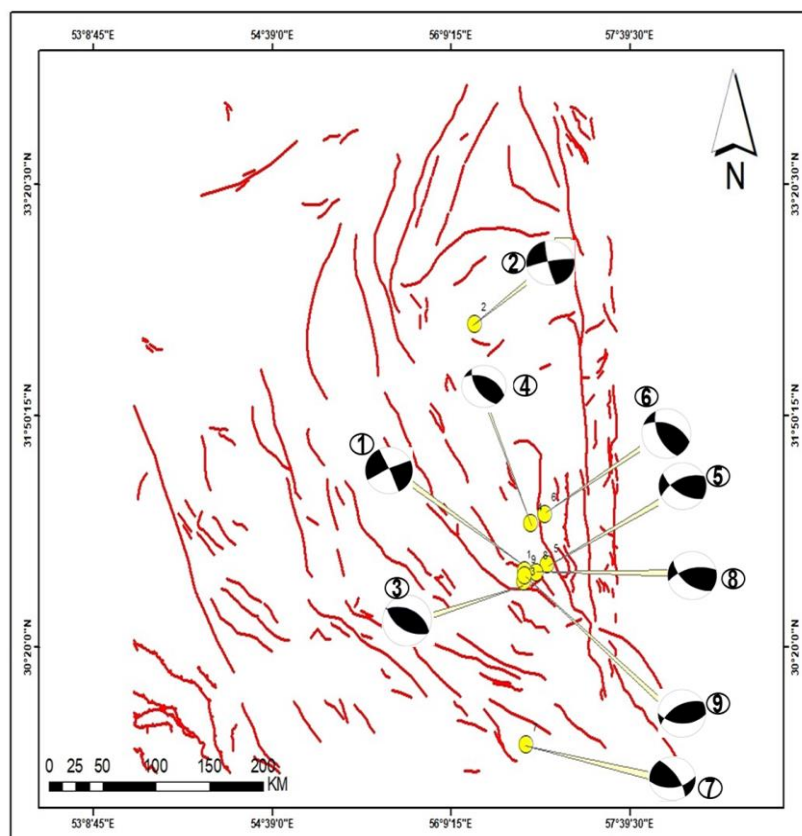
سازوکار زمین‌لرزه شماره یک (۲۰۰۶/۱۰/۰۹)

این زمین‌لرزه 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 زرد و در نزدیکی گسل کوهبنان روی داده است. روند این گسل شمال باختری - جنوب خاوری می‌باشد. سازوکار این زمین‌لرزه از گونه راست‌الغز راست‌بر و شیب گسل در این ناحیه قائم می‌باشد.

جدول ۱- فهرست زمین لرزه‌هایی که سازوکار آنها در این پژوهش به دست 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 _N)	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 می‌باشد.

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 مؤلفه 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 روی داده است. سازوکار این زمین لرزه راست‌بر با مؤلفه معکوس (با راستای گسلی (NW-SE) می‌باشد.

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 مؤلفه 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 گسل‌های فرعی سوی شمال آن رخ داده است. سازوکار این زمین لرزه از نوع معکوس (NW-SE) و مؤلفه 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 مؤلفه 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 می‌باشد. راستای گسل در این گستره خاوری باختری به دست آمده است.

نتیجه گیری

زمین ریخت شناسی

از بررسی جابه جایی لایه ها توسط گسل ها در مناطق شمالی گستره بررسی شده می توان نتیجه گرفت که گسل های جوان باعث جابه جایی لایه ها شده و این گستره ها از دیدگاه تکتونیکی جنبا می باشند. این جابه جایی لایه ها در جنوب باختری و باختر شهرستان طبس، در نزدیکی گسل پشت بادام، در شمال خاوری شهرستان بهاباد و همچنین در بخش شمال باختری ایران مرکزی رخ داده اند. اگرچه، این نکته مهم را نباید از نظر دور نگه داشت که، بیشتر گسل ها ممکن است هر دو شیب لغز و امتداد لغز را داشته باشند، که در تصاویر ماهواره ای مؤلفه شیب لغز زیاد قابل تشخیص نیست، بنابراین ممکن است هر نوع گسلی باشد. همچنین، اشکال مدور می توانند پیامد نفوذ گنبد نمکی باشد، بنابراین نفوذ گنبد های نمکی هم می تواند باعث شکل گیری گسل های فرعی شود.

لرزه خیزی

ایران مرکزی نسبت به خاور ایران، البرز، زاگرس و آذربایجان از لرزه خیزی کمتری برخوردار است. با توجه به نقشه لرزه خیزی بیشتر زمین لرزه ها در بخش خاور گستره ایران مرکزی و در پیرامون گسل های کوهبنان، لکرکوه، گلباف و نایبند روی داده اند. زمین لرزه های بزرگ و خرد لرزه های زیادی در پیوست سه گانه گسل های شهداد - گلباف - لکرکوه - کوهبنان - نایبند روی داده اند. چند زمین لرزه با بزرگای میانه و خرد لرزه های بسیار پراکنده در باختر ایران مرکزی روی داده اند.

سازوکار زمین لرزه ها

از میان کل زمین لرزه ها، تنها ۹ زمین لرزه با بزرگای میانه دارای داده های از دیدگاه کمی و کیفی برای حل سازوکار مناسب بودند. از میان این زمین لرزه ها، زمین لرزه 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، زمین لرزه ای در تاریخ ۲۰۰۹/۰۳/۰۷ با بزرگای ۴/۳ در ۵ کیلومتری خاور روستای داهوییه (زرنند) و در نزدیکی گسل کوهبنان، زمین لرزه ای در تاریخ ۲۰۰۹/۰۶/۲۶ با بزرگای ۴/۳ در ۱۳ کیلومتری جنوب شهرستان راور و در نزدیکی خم شمالی (سازوکار معکوس) گسل لکرکوه، زمین لرزه ای در تاریخ ۲۰۱۰/۰۱/۲۶ با بزرگای ۴/۳ در ۳۶ کیلومتری شمال خاور شهرستان زرنند (نزدیک به روکانون زمین لرزه ۲۰۰۵) و در جنوب گسل کوهبنان، زمین لرزه ای در تاریخ ۲۰۱۰/۰۳/۰۱ بزرگای ۴/۰ در ۱۳ کیلومتری خاور شهرستان راور و در خم شمالی گسل لکرکوه، زمین لرزه ای 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 زمین لرزه های ۱۹۲۳ و ۲۰۱۰) رخ داده، زمین لرزه ای نیز در تاریخ ۲۰۱۰/۰۹/۱۵ با بزرگای ۴/۵ باز هم در ۲۹ کیلومتری خاور شهرستان زرنند و در نزدیکی جنوب گسل کوهبنان روی داده و سرانجام زمین لرزه ای 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 زمین لرزه های با بزرگای ۴/۰ تا ۵/۸ بوده است. سازوکار بیشتر این زمین لرزه ها معکوس و راستالغز راست بر با یک پهنه گرهی هم راستا با گسل های کوهبنان و لکرکوه می باشد. از امتیازات این پژوهش حل سازوکارها با روشی متفاوت و عدم تکیه بر روش های پیشین برای تفسیرهای لرزه زمین ساختی می باشد. حل بیشتر سازوکارها با این روش با اندکی تفاوت در شیب، راستا و لغزش گسل ها، تا اندازه زیادی مؤید روش های پیشین بوده و حل این سازوکارها در تناقض با حل دیگر زمین لرزه ها در این گستره نیست.

سازوکارهای به دست آمده از زمین لرزه‌ها و سازوکار زمین‌شناسی سطحی گسل‌ها نشان می‌دهد، بیشتر زمین‌لرزه‌ها وابسته به گسل کوهبنان و لکرکوه بوده و سازوکار آن را تأیید 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، مؤسسه 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 Hojedd 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
- 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>