



## الگوی دگرشکلی فعال در سامانه‌های گسلی خاور ایران

(مطالعه موردی زمین‌لرزه‌های اسماعیل‌آباد)

محمد امیر علیمی

استادیار گروه مهندسی معدن دانشگاه صنعتی بیرجند malimi@birjandut.ac.ir

### چکیده

گستره مورد مطالعه در خاور ایران و در بخش مرکزی پهنه زمین‌درز سیستان واقع است. در روزهای ۴ و ۹ آبان‌ماه ۱۴۰۲ زمین‌لرزه‌هایی با بزرگی ( $M_w = 5.0, 4.8$ ) در شمال‌باختری روستای اسماعیل‌آباد به وقوع پیوست. حل سازوکار کانونی این دو زمین‌لرزه، گسلی با سازوکارهای مختلف را مسبب زمین‌لرزه‌های مذکور معرفی می‌کند. الگوی گسلی فعال در منطقه شامل گسل راستالغز راست‌بر اسماعیل‌آباد با راستای شمالی-جنوبی و گسل‌های معکوس شمال‌باختری-جنوب‌خاوری است. این گسل‌های معکوس به‌عنوان رانندگی‌های پایانه‌ای گسل اسماعیل‌آباد در نظر گرفته می‌شود که در کوه زر (رانندگی هشتوگان) رخنمون دارند. حل سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌های آبان‌ماه، برهمکنش این دو سامانه گسلی را نشان می‌دهد که به‌صورت هم‌درد عمل کرده‌اند. رانندگی‌های پایانه‌ای در طی رویداد لرزه‌ای نخست فعال شده و باعث برانگیخته شدن دومینویی گسل اسماعیل‌آباد در رویداد لرزه‌ای دوم شده است. بنظر می‌رسد این الگو در فعالیت گسل‌ها در خاور ایران غالب است و می‌بایست در زمان وقوع زمین‌لرزه‌های منطقه در نظر گرفته شود.

واژه‌های کلیدی: زمین‌لرزه، رانندگی پایانه‌ای، گسل هم‌درد، خاور ایران.

## Active deformation pattern in the fault systems of eastern Iran

(case study of Esmailabad earthquakes)

Mohammad Amir Alimi

Assistant Professor, Department of mining engineering, Birjand University of Technology  
malimi@birjandut.ac.ir

### Abstract

The studied area is located in the east of Iran and in the central part of the Sistan suture zone. On the 26th and 31th of October 2023, earthquakes of magnitude ( $M_w = 5.0, 4.8$ ) occurred in the northwest of Esmailabad village. The focal mechanism solution of these two earthquakes introduces faults with different mechanisms as the cause of the mentioned earthquakes. The active faulting pattern in the region includes the N-S striking right-lateral Esmailabad fault and the NW-SE striking reverse faults. These reverse faults are considered as the terminal thrusts of the Esmailabad fault, which outcrop in Zarkuh (Hashtugan thrust). The focal mechanism solution of the October earthquakes shows the interaction of these two fault systems that have acted sympathetic. The terminal thrusts were activated during the first seismic event and triggered the domino fault of Esmailabad in the second seismic event. It seems that this pattern is dominant in the activity of faults in the east of Iran and should be considered when earthquakes occur in the region.

**Key Words:** Earthquake, thrust termination, sympathetic fault, eastern Iran.



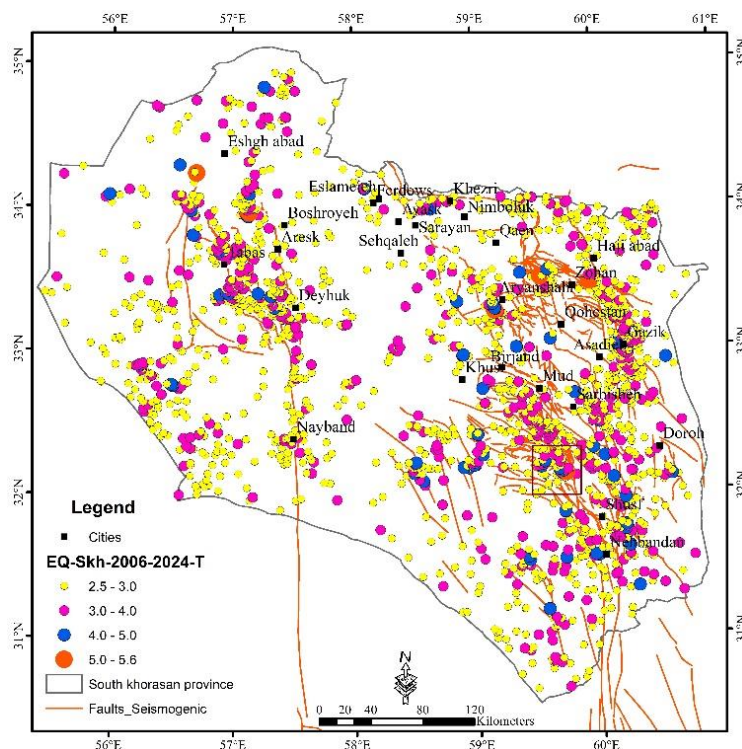
## ۱. مقدمه

توزیع کانون سطحی زمین‌لرزه‌های ۱۸ سال گذشته در گستره خراسان جنوبی (خاور ایران) نشان می‌دهد که تمامی گسل‌های لرزه‌زای شناخته شده، فعالیت دارند. ایجاد خردلرزه‌ها در امتداد یا پیرامون این گسل‌ها گویای این مطلب است (شکل ۱). در آبان‌ماه ۱۴۰۲، دو زمین‌لرزه به بزرگی‌های ( $M_w = 5.0, 4.8$ ) در شمال‌باختری اسماعیل‌آباد رخ داد. اگرچه این زمین‌لرزه‌ها تلفات جانی و خسارت مالی در پی نداشت اما از دیدگاه زمین‌ساختی، سازوکار کانونی آنها (یکی معکوس و دیگری امتدادلغز) حائز اهمیت است که در یک مکان رویداده‌اند. در این پژوهش با مطالعه لرزه‌خیزی و گسلش فعال در گستره اسماعیل‌آباد به ارائه الگوی دگرشکلی فعال در منطقه پرداخته‌ایم.

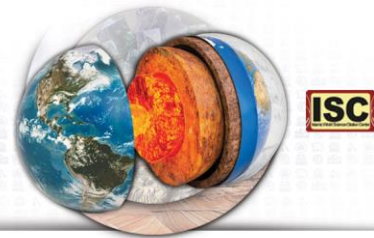
## ۲. موقعیت زمین‌ساختی و لرزه‌خیزی ناحیه‌ای منطقه

منطقه مورد مطالعه در بخش باختری گسل اسماعیل‌آباد قرار دارد (شکل ۱). این گستره از نظر جایگاه زمین‌ساختی، بخشی از پهنه زمین‌درز سیستان بوده که در محل تلاقی دو بلوک ساختاری افغان و لوت واقع است. این پهنه، در نتیجه همگرایی مایل بین بلوک‌های ایران مرکزی و افغان متأثر از رژیم تنش‌ی راستالغز راست‌بر می‌باشد.

در سده اخیر، بررسی سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌های ثبت شده در خاور ایران نشان می‌دهد که گسل‌های راستالغز شمالی - جنوبی یا خاوری - باختری به همراه پایانه‌هایشان مسبب زمین‌لرزه‌های مخرب بوده‌اند. در شمال منطقه، زمین‌لرزه فردوس (۱۹۶۸) به‌عنوان پایانه گسل راستالغز چپ‌بر دشت بیاض و در جنوب، زمین‌لرزه‌های سفیدابه (۱۹۹۴) به‌عنوان پایانه گسل راستالغز راست‌بر زاهدان در نظر گرفته می‌شوند. همچنین کانون سطحی زمین‌لرزه‌ها و خردلرزه‌های ۱۸ سال اخیر نیز نشان از فعالیت گسل‌های فعال در منطقه دارد (شکل ۱).

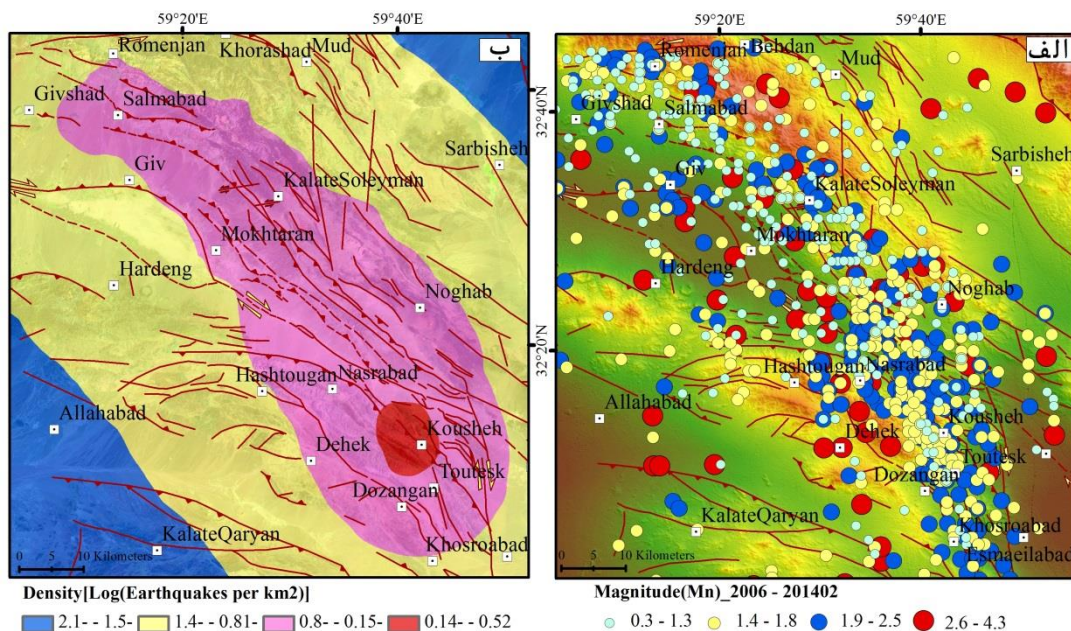


شکل ۱. کانون سطحی خردلرزه‌های ۱۸ سال اخیر در گستره خراسان جنوبی (خاور ایران). منطقه مورد مطالعه با کادر مشکی نشان داده شده است. کاتالوگ زمین‌لرزه‌ها در فاصله زمانی ۲۰۰۶-۲۰۲۴ از IGUT.



### ۳. گسلش فعال و لرزه خیزی گستره اسماعیل آباد

توزیع گسلش فعال در ناحیه اسماعیل آباد و پیرامون آن مرتبط با انتقال گسلش راستالغز راست بر شمالی - جنوبی به گسلش راستالغز چپ بر خاوری - باختری در خاور ایران است [۴]. تغییر الگوی گسلش از شمالی - جنوبی در گسل راستالغز اسماعیل آباد به سامانه راندگی پراکنده با روند شمال باختر - جنوب خاور صورت می گیرد که به عنوان راندگی های پایانه ای گسل اسماعیل آباد شناخته می شوند. رشته کوه های زر و سیاه کمر از لحاظ ساختاری اریب های پایانه ای گسل های نه خاوری، اسماعیل آباد و نه باختری بوده و به زمان کرتاسه پسین و پالئوژن تعلق دارند (شکل ۳). رشته کوه زر با سیمای اریب خمیده، به صورت مرزهای گسلی با دشت در شمال و جنوب نمود دارد. بررسی زمین لرزه های تاریخی و دستگاهی ثبت شده در منطقه نشان از فعالیت مخرب هر دو نوع سازوکار مذکور دارد. نقشه پراکندگی و چگالی خردلرزه های روی داده در شمال باختر گسل اسماعیل آباد، نشان می دهد که بیشتر زمین لرزه ها در روند شمال باختر - جنوب خاور روی داده اند که با روند ساختارهای قدیمی منطقه همخوانی دارد. همچنین خردلرزه ها در شمال باختری گسل اسماعیل آباد (حوالی روستاهای دهک، خوشه و دوزنگان) تمرکز بیشتری دارند [۱]. (شکل ۲).



شکل ۲- الف) توزیع رومرکز رویدادهای لرزه ای در شمال خاوری اسماعیل آباد؛ ب) نقشه چگالی رومرکزها در شکل الف که با روند شمال باختر - جنوب خاور کشیده شده است.

### ۴. لرزه شناسی زمین لرزه اسماعیل آباد

در روزهای ۴ و ۹ آبان ماه ۱۴۰۲ زمین لرزه های با بزرگی ( $M_w = 5.0, 4.8$ ) در شمال باختری روستای اسماعیل آباد واقع در مرکز پهنه زمین درز سیستان رخ دادند. حل سازوکار کانونی زمین لرزه با استفاده از روش برگردان تانسور گشتاوری در حوضه زمان براساس الگوسازی شکل موج و با کمک داده های باند پهن مرکز لرزه نگاری کشوری و داده های در دسترس پژوهشگاه بین المللی زلزله شناسی و مهندسی زلزله توسط مرکز لرزه نگاری کشوری وابسته به مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران (IGUT) تعیین شده است (جدول ۱ و ۲). حل سازوکار کانونی این زمین لرزه ها دو سازوکار معکوس و امتدادلغز را نشان می دهد (شکل ۳).



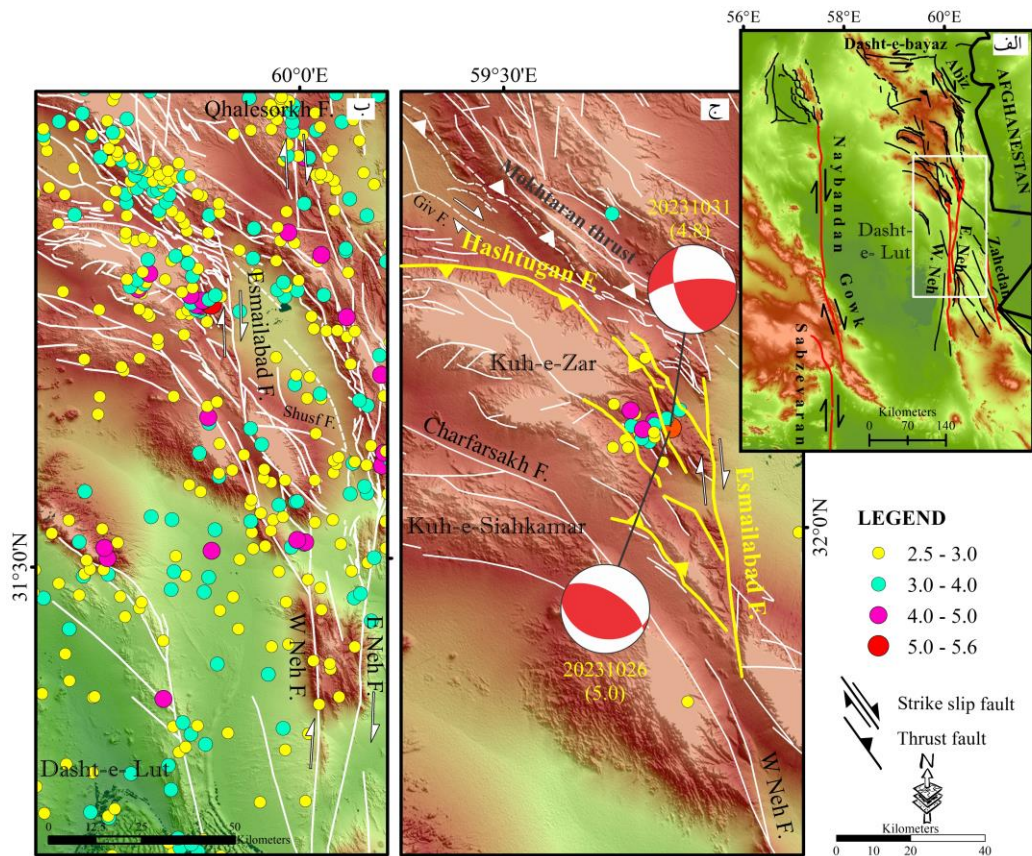


جدول ۱. فراسنج‌های اصلی زمین‌لرزه‌های اسماعیل‌آباد.

مرجع	زمان	عرض شمالی	طول خاوری	عمق	$m_b$	$M_w$	$M_0$
IGUT	۲۰۲۳/۱۰/۲۶:۲۰:۳۴:۱۱	۳۲/۱۳	۵۹/۷۳	۸/۰	۵/۰	۵/۰	3.494e+16
IGUT	۲۰۲۳/۱۰/۳۱:۰۹:۱۳:۴۰	۳۲/۱۴	۵۹/۷۱	۷/۰	۴/۸	۴/۸	1.75e+17

جدول ۲. فراسنج‌های سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌های اسماعیل‌آباد.

مرجع	NP1.S1	NP1.D1	NP1.R1	NP2.S2	NP2.D2	NP2.R 2	P-Axis.Tr	P-Axis.Pl	T-Axis.Tr.	T-Axis.Pl
IGUT, E1	۳۰۱	۵۹	۱۰۱	۱۰۰	۳۲	۷۲	۲۳	۱۴	۲۳۹	۷۳
IGUT, E2	۲۶۳	۷۳	۳۲	۱۶۳	۵۹	۱۶۱	۳۰	۹	۱۲۷	۳۴



شکل ۳- الف) سامانه گسلی سیستان و نایبند مرزهای خاوری و باختری بلوک لوت را تشکیل می‌دهند. کادر سفید رنگ موقعیت نمایش خرد لرزه‌ها در شکل ب را نشان می‌دهد؛ ب) زمین‌لرزه‌های دستگاهی ثبت شده با بزرگی بالای ۲/۵ در فاصله زمانی ۲۰۰۶-۲۰۲۴. (مأخذ: IGUT؛ ج) رویدادهای لرزه‌ای آبان‌ماه ۱۴۰۲ به همراه پس‌لرزه‌های همراه.

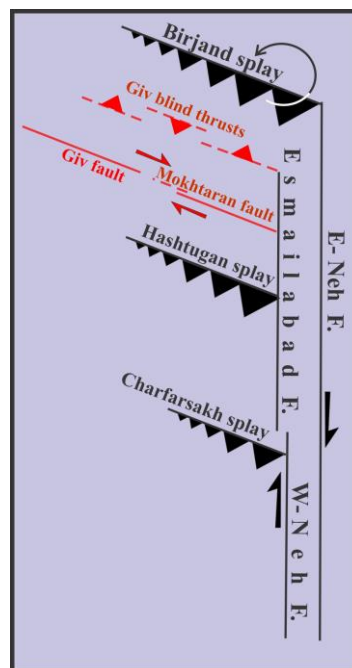


#### ۴. الگوی دگرشکلی گسل‌های راستالغز در پهنه‌های همگرای مایل در خاور ایران

به‌منظور درک زمین‌ساخت فعال خاور ایران، محققین به بیان الگوهای دگرشکلی جوان پوسته در این منطقه پرداخته‌اند. یکی از این الگوها، الگوی دگرشکلی گسل‌های راستالغز در پهنه‌های همگرای مایل است. همگرایی مایل بین بلوک‌های ایران مرکزی و افغان مستلزم برش راستالغز و چرخش پادساعت‌گرد (در امتداد گسل‌های راستالغز شمالی - جنوبی) و ساعت‌گرد (در امتداد گسل‌های راستالغز خاوری - باختری) در پهنه دگرشکلی سیستان می‌باشد [۵ و ۳]. این امر با شکل‌گیری گسل‌های راندگی در پایانه گسل‌های راستالغز امکان‌پذیر می‌شود. بنابراین در پهنه ساختاری سیستان بخشی از کوتاه‌شدگی شمال‌خاوری - جنوب‌باختری به صورت گسلش معکوس بدون چرخش و بخشی در راستای گسل‌های راستالغز در حال چرخش و راندگی‌های پایانه‌ای آنها نمود می‌یابد.

#### ۵. الگوی جنبشی و ساختاری گستره اسماعیل‌آباد

بررسی سازوکار کانونی زمین‌لرزه‌های اخیر رخ داده در شمال‌باختری گسل اسماعیل‌آباد نشان می‌دهد که ابتدا زمین‌لرزه‌ای با بزرگی ( $M_w=5$ ) و با سازوکار معکوس در راستای شمال‌باختری-جنوب‌خاوری به وقوع پیوسته است و پنج روز بعد زمین‌لرزه‌ای با بزرگی ( $M_w=4.8$ ) و با سازوکار راستالغز در راستای شمالی-جنوبی رخ داده است. با توجه به این‌که شکستگی‌های همزمان با زمین‌لرزه در بازدید صحرائی منطقه شناسایی نشده است، ملاک تفکیک صفحه اصلی از صفحه کمکی گسل‌های فعال شناخته شده در منطقه می‌باشد. گسل اسماعیل‌آباد با راستای شمالی-جنوبی (راستالغز راست‌بر) و گسل هشتوگان با راستای شمال‌باختری-جنوب‌خاوری (معکوس) از جمله گسل‌های شناخته شده در منطقه محسوب می‌شوند. زمین‌لرزه‌های اسماعیل‌آباد ارتباط بین سامانه‌های گسلی راستالغز و راندگی‌های پایانه‌ای آنها در خاور ایران یادآوری می‌کند. علاوه بر این، برانگیخته شدن پیاپی و زود هنگام سامانه‌های گسلی راستالغز و راندگی‌های پایانه‌ای آنها را نشان می‌دهد. این برانگیختگی دومینویی که تحت عنوان گسل‌های هم‌درد مشهور است مبین برهمکنش این دو سازوکار گسلی در خاور ایران است. پیش از این نیز در زمین‌لرزه‌های دشت بیاض و فردوس (۱۹۶۸)، کولی و بنیاباد (۱۹۷۹) و آبیز و گزیک (۱۹۹۷) هم‌دردی گسل‌ها گزارش شده است [۲]. بنابراین دگرشکلی فعال غالب در منطقه، متأثر از راندگی‌های پایانه‌ای گسل‌های راستالغز است که در مراحل مختلف فعالیت و رشد سامانه گسلی راستالغز راست‌بر نه خاوری، اسماعیل‌آباد - نه باختری، در ارب‌های بیرجند، هشتوگان و چهارفرسخ ایجاد شده‌اند (شکل ۴).





شکل ۴- الگوی اریب پایانه‌ای گسل‌های راستالغز. برش راستالغز راست‌بر شمالی-جنوبی با سازوکار معکوس شمال‌باختری-جنوب‌خاوری راندگی‌های پایانه‌ای همراه است.

#### ۶. نتیجه‌گیری

از ویژگی‌های مهم زمین‌ساختی خاور ایران این است که تقریباً تمام همگرایی در منطقه‌ای کوچک در نزدیکی مرز ایران و افغانستان متمرکز گردیده و یک منطقه فشرده شده باریک و مناسب برای برخورد قاره‌ای را ایجاد می‌کند. در این گستره بخش عمده‌ای از برش بر روی گسل‌های شمالی - جنوبی صرف لغزش راستالغز می‌شود. گسل‌های راستالغز نیز به راندگی‌های پایانه‌ای وصل می‌شوند. زمین‌لرزه‌های اسماعیل‌آباد ارتباط بین سامانه‌های گسلی راستالغز و راندگی‌های پایانه‌ای آنها را در خاور ایران نشان می‌دهد. همچنین، هم‌دردی این سامانه‌های گسلی را در زمان وقوع زمین‌لرزه یادآوری می‌کند. با شناخت سامانه‌های گسلی مذکور و ارتباط هم‌دردی آنها، قادر به پیش‌بینی زمانی رخدادهای لرزه‌ای در آینده خواهیم بود.

#### منابع

- [1] علیمی، م.ا.، ۱۳۹۴، ارزیابی لرزه‌زمین‌ساختی پهنه‌های برشی پنهان فعال (خاور ایران، خراسان جنوبی)، دانشگاه بیرجند، رساله دکتری.
- [2] علیمی، م.ا.، ۱۳۹۴، شناسایی گسل‌های هم‌درد مسبب زمین‌لرزه‌های مخرب سده بیستم در خاور ایران، سی و چهارمین همایش علوم زمین.
- [3] Freund, R., 1970. "Rotation of strike-slip faults in Sistan, southeast Iran". J. Geol, 78, p. 188–200.
- [4] Walker, R. & Khatib, M. M., 2006. "Active faulting in the Birjand region of NE Iran". Tectonics. 25, TC4016.
- [5] Walker, R., Jackson, J. & Baker, C., 2004. "Active faulting and seismicity of the Dasht-e Bayaz region, eastern Iran". Geophys. J. Int, 157, p. 265–285.