



Research Article

Structural evolution of northwest-southeast trend in Hemmatabad area – East Iran

Ebrahim Gholami^{*1} , Mohsen Karimi Dehkordi¹, MohammadMahdi Khatib¹

1-Department of Geology, Faculty of Sciences, University of Birjand, Birjand, Iran

Received: 13 Dec 2022 Accepted: 6 May 2023

Extended Abstract

Introduction: Northwest-southeast structural trend, is one of the dominant structural trends in the east of Iran. Dextral N-S striking Nehbandan fault system, is located between Sistan and Lut structural zones. The tectonic model and growth of northwest-southeast trends in the east of Iran will be introduced by deformation analysis in Hematabad region.

Materials and methods: The rock units of the Sistan subzone include: Cretaceous ophiolitic and metamorphic units and flysch-pyroclastic units. Hematabad region includes: ophiolitic units extending in the northwest-southeast direction, volcanic rocks, and sandstone, shale, limestone units with metamorphism ranging from slate, phyllite to schist.

The northwest plunging folds in the tertiary's shale and sandstone units have steep forelimb on the southwest side, which indicates the southwest tectonic vergence. Geometric and kinematic analysis of mentioned fault zones, indicates the main axis of compression in the region has an average trend of N25E. The shear component is dominant in the north-south fault zones and the compressive component is dominant in the northwest-southeast ones. According to the geometrical analysis of the faults and their mechanisms, folds and the rock units outcrop, the activity of the faults in the northeastern part can be considered as older (earlier) faults.

Results and Discussion: Based on geomorphological evidences such as displaced rivers, shutter ridges and fault scarps in Hematabad region, fault zones migrate to the southwest. By assessment of the fault and folds, outcrop of the rock units and the morphotectonic features, the following structural model can be presented: The first stage: by NE component of compressive stress, the NW-SE striking Hematabad fault zone in which the pressure component is dominant, ophiolitic units was exposed.

The second stage: a new fault the same as Hemmatabad fault zone (NW-SE) has been formed in its southwestern part with a reverse right-lateral mechanism. With the continuation of mentioned deformation, folding of Cretaceous and Paleocene-Eocene sedimentary rocks and displacement in rivers occurred.

Third stage: Shutter ridges develop with the formation of new faults. In this model, the growth of the structures has been done from the northeast to the southwest.

NE component of compressive stress, has caused folds with a northwest-southeast axial trace in the region. In north-south striking faults, the strike-slip component is dominant, but in northwest-southeast striking faults (such as Hematabad fault zone), the reverse component is dominant.

The morphotectonic evidences indicate that the uplift of fault scarps is decreasing from the northeast to the southwest, and the deflection of rivers is decreasing from the southeast to the northwest. Therefore, the tectonic activity in the southeastern part is more than the northwestern part in this region.

Conclusion: The growth of structures in this area continues with the creation of NW-SE striking fault zones from the northeast to the southwest, which indicates the structural growth in the northwest-southeast trends in the east of Iran.

Keywords: Nehbandan fault zone, Hemmat abad fault zone, East Iran, Structural growth, Right-lateral fault.

Citation: Ebrahim Gholami, Mohsen Karimi Dehkordi, MohammadMahdi Khatib (2023). Structural evolution of northwest-southeast trend in Hemmatabad area – East Iran, *Res. Earth. Sci.* 14(2), (92-103) DOI: 10.48308/ESRJ.2023.101386

* Corresponding author E-mail address: Egholami@birjand.ac.ir



تکوین ساختاری روند شمال باختری - جنوب خاوری در منطقه همت آباد - خاور ایران

ابراهیم غلامی^{۱*}، محسن کریمی دهکردی^۱، محمد مهدی خطیب^۱

۱- گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

(پژوهشی) ۱۴۰۱/۰۹/۲۲ پذیرش نهایی مقاله: ۱۴۰۲/۰۲/۱۶

چکیده گسترده

مقدمه: روند ساختاری شمال غربی - جنوب شرقی، یکی از روندهای ساختاری غالب در شرق ایران است. راستگرد N-S گسلی نهندان، بین زون ساختاری سیستان و لوت قرار دارد. مدل تکتونیکی و رشد روندهای شمال غربی - جنوب شرقی در شرق ایران با تحلیل تغییر شکل در منطقه همت آباد معرفی می شود.

مواد و روش ها: واحدهای سنگی زیرپهنه سیستان عبارتند از: واحدهای افیولیتی و دگرگونی کرتاسه و واحدهای فلیش - آوار آلاستی. منطقه همت آباد شامل: واحدهای افیولیتی امتداد یافته در جهت شمال غربی - جنوب شرقی، سنگ های آتشفشانی و واحدهای ماسه سنگ، شیل، آهک با دگرگونی از تخته سنگ، فیلیت تا شیست است. چین های فرورفته شمال غربی در واحدهای شیل و ماسه سنگ ثالث دارای قسمت جلویی شیب دار در سمت جنوب غربی هستند که نشان دهنده همگرایی زمین ساختی جنوب غربی است. تحلیل هندسی و سینماتیکی پهنه های گسلی مذکور نشان می دهد که محور اصلی تراکم در منطقه دارای روند متوسط E25N است. مولفه برشی در پهنه های گسلی شمال - جنوب و مولفه فشاری در پهنه های شمال غربی - جنوب شرقی غالب است. با توجه به تحلیل هندسی گسل ها و مکانیسم های آن ها، چین خوردگی ها و برون آمدگی واحدهای سنگی، می توان فعالیت گسل های شمال شرقی را به عنوان گسل های قدیمی تر (پیش تر) در نظر گرفت.

نتایج و بحث: براساس شواهد ژئومورفولوژیکی از قبیل رودخانه های جابجا شده، برآمدگی های دریچه ای و اسکارپ های گسلی در منطقه همت آباد، پهنه های گسلی به سمت جنوب غربی مهاجرت می کنند. با ارزیابی گسل ها و چین خوردگی ها، رخنمون واحدهای سنگی و ویژگی های مورفوتکتونیکی، می توان مدل ساختاری زیر را ارائه داد:

مرحله اول: با مولفه NE تنش فشاری، پهنه گسلی همت آباد برخوردی NW-SE که مولفه فشار در آن غالب است، واحدهای افیولیتی در معرض دید قرار گرفت.

مرحله دوم: گسل جدیدی مانند پهنه گسلی همت آباد (NW-SE) در قسمت جنوب غربی آن با مکانیزم راست - چپ معکوس تشکیل شده است. با ادامه تغییر شکل مذکور، چین خوردگی رسوبی کرتاسه و پالئوسن - ائوسن و جابجایی در رودخانه ها رخ داد.

مرحله سوم: برآمدگی های شاتر با تشکیل گسل های جدید ایجاد می شوند. در این مدل رشد سازه ها از شمال شرق به جنوب غرب انجام شده است. مولفه NE تنش فشاری، چین خوردگی هایی با رد پای محوری شمال غربی - جنوب شرقی در منطقه ایجاد کرده است. در گسل های ضربه گیر شمال به جنوب، مولفه امتداد لغز غالب است، اما در گسل های ضربه گیر شمال غربی به جنوب شرقی (مانند پهنه گسل همت آباد)، مولفه معکوس غالب است. شواهد مورفوتکتونیکی حاکی از آن است که برآمدگی اسکارپ های گسلی از شمال شرقی به جنوب غربی و انحراف رودخانه ها از جنوب شرقی به شمال غربی در حال کاهش است. بنابراین فعالیت زمین ساختی در قسمت جنوب شرقی بیشتر از قسمت شمال غربی در این منطقه است.

نتیجه گیری: رشد سازه ها در این ناحیه با ایجاد پهنه های گسلی ضربه گیر شمال باختری - جنوب شرقی از شمال شرق به جنوب غرب ادامه می یابد که نشان دهنده رشد ساختاری در روند شمال غربی - جنوب شرقی شرق ایران است. تکوین ساختاری روند شمال باختری - جنوب خاوری در منطقه همت آباد - خاور ایران.

واژگان کلیدی: پهنه گسلی نهندان، پهنه گسلی همت آباد، خاور ایران، رشد ساختاری، گسل امتداد لغز راست گرد.

استناد: ابراهیم غلامی، محسن کریمی دهکردی، محمد مهدی خطیب (۱۴۰۲). تکوین ساختاری روند شمال باختری - جنوب خاوری در منطقه

همت آباد - خاور ایران، پژوهشهای دانش زمین: ۱۴ (۲)، (۱۰۳-۹۲)، DOI: 10.48308/ESRJ.2023.101386

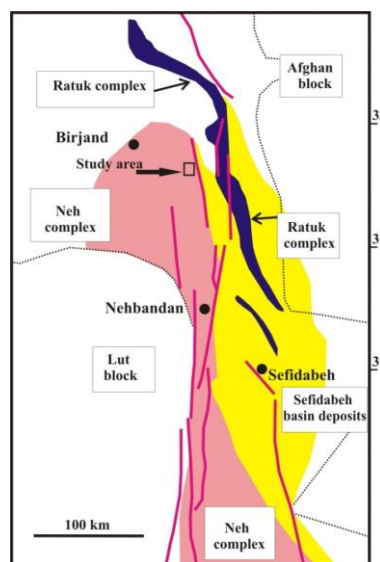
مقدمه

در بخش خاوری ایران که روندهای ساختاری غالب از نوع شمالی - جنوبی می‌باشند، نحوه رشد روندهای ساختاری شمال‌باختری - جنوب‌خاوری همواره مورد سوال بوده است. در مرز بین ایالت ساختاری سیستان و پهنه لوت سیستم گسلی نه‌بندان با امتداد شمالی - جنوبی و با سازوکار غالب امتدادلغز راست‌گرد قرار دارد (Walker and Jackson, 2004; Walker and Khatib, 2006; Walker et al, 2004; Berberian and Yeats, 2001; Berberian et al, 2000; Freund, 1970) که به صورت تداخلی وارد پهنه لوت می‌شود. خطیب و شهریاری (۱۳۷۶) طرح هندسی پایانه گسل‌های امتدادلغز را نتیجه جدایش ارب‌های فرعی و چرخش در جهت خلاف بردار حرکت می‌دانند. نظرات متعددی در خصوص تکامل زمین‌ساختی خاور ایران ارائه شده است که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: استوک‌لین (Stocklin, 1968)، مک کال (Mc Call, 1985)، تیرال و همکاران (Tirrul et al, 1983)، کمپ و گریفیز (Camp and Griffis, 1982)، افتخارنژاد (۱۳۵۲)، بربریان (۱۳۶۷)، فیروز (۱۳۹۰). همچنین جلیلی و همکاران (Jalili et al, 2015)، شرکا و همکاران (Shoraka et al, 2016)، محمدی

و همکاران (Mohammadi et al, 2014)، صمیمی و همکاران (Samimi et al, 2020 a,b)، صمیمی و غلامی (Samimi and Gholami, 2017)، عباسی و همکاران (Abbasi et al, 2017)، احمدب و همکاران (Ahmadi et al, 2019, 2020)، قاسمی و همکاران (Ghasemi et al, 2016, 2017)، عزتی و همکاران (Ezzati et al, 2020, 2021)، یزدان‌پناه و همکاران (Yazdanpanah et al, 2015)، حیدری و همکاران (Heidari et al, 2015)، باغبانی و همکاران (Baghbani et al, 2017)، پورغیاثیان و همکاران (Porghiasian et al, 2015) به همزمانی فعالیت روندهای اصلی و نقش مولفه شمال‌خاوری - جنوب‌باختری در تکامل زمین‌ساختی منطقه خاور ایران اشاره کرده‌اند اما نحوه رشد ساختاری در روندهای شمال‌باختری - جنوب‌خاوری مدنظر قرار نگرفته است.

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه با موقعیت $85^{\circ} 59'$ تا $60^{\circ} 00'$ طول خاوری و $37^{\circ} 32'$ تا $53^{\circ} 32'$ درجه عرض شمالی در بخش شمال‌خاوری زیرپهنه سیستان در استان خراسان جنوبی واقع شده است (شکل ۱).



شکل ۱: ویژگی کلی مجموعه‌های سنگی و ساختارهای اصلی زمین‌درز سیستان (اقتباس از Walker, 2004 با ترسیم مجدد)

گسل‌های شمالی - جنوبی متصل می‌گردد. هدف این تحقیق شناسایی، معرفی و تحلیل دگرشکلی در منطقه همت‌آباد است که بر این اساس الگوی زمین‌ساختی حاکم بر نحوه رشد روندهای شمال‌باختری - جنوب‌خاوری در

پهنه گسلی همت‌آباد با امتداد NW-SE در راستای یکی از سرشاخه‌های گسل نه‌خاوری قرار گرفته است که مانند سایر روندهای شمال‌باختری - جنوب‌خاوری در زیرپهنه سیستان، این پهنه گسلی نیز با تداوم به سمت جنوب، به

واحدهای افیولیتی به صورت نوار باریکی در بین واحدهای ترشیر رخنمون یافته‌اند و به تدریج به سمت شمال‌باختر از گستره سطحی آن کاسته می‌شود (شکل ۳).

تحلیل هندسی - جنبشی ساختارهای منطقه همت‌آباد: پهنه گسلی نه‌بندان با امتداد شمالی - جنوبی و سازوکار امتداد لغز راست‌گرد، در مرز زیرپهنه سیستان و لوت باعث دگرشکلی این منطقه گردیده است (غلامی، ۱۳۸۸). از آنجا که بررسی لرزه‌ای، زمین‌ساخت جنبی و ویژگی ساختاری در راستای پهنه‌های گسلی، ما را در شناخت هرچه بیشتر سازوکار این پهنه‌ها یاری می‌کند (Fossen, 2010; Keller, 2003; Han et al, 2003) لذا ابتدا ویژگی‌های هندسی و جنبشی چین‌ها و گسل‌ها و سپس ویژگی‌های ریخت‌زمین‌ساختی در منطقه همت‌آباد مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

چین‌های منطقه مورد مطالعه: چین‌های موجود در واحدهای شیل و ماسه‌سنگی ترشیر در منطقه مطالعه (چین‌های ۱، ۲، ۳، ۴) اثر محوری NW-SE دارند (جدول ۱، شکل ۴).

خاور ایران معرفی خواهد گردید. برای رسیدن به این هدف وضعیت هندسی - جنبشی گسل‌ها، چین‌ها و همچنین ویژگی‌های ریخت‌زمین‌ساختی منطقه مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

ویژگی‌های سنگ‌شناسی منطقه همت‌آباد

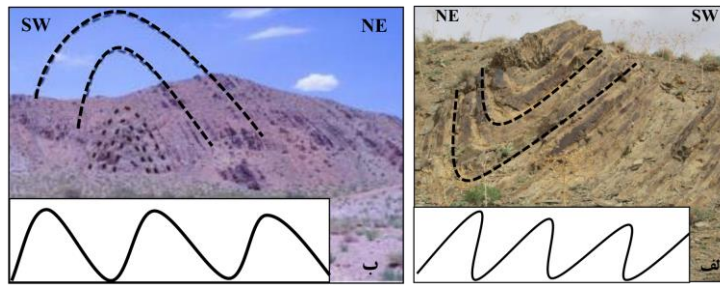
واحدهای سنگی زیرپهنه سیستان شامل: واحدهای افیولیتی و دگرگونی کرتاسه (کمپلکس‌های نه - راتوک) و واحدهای فلیش - آذرآواری (مجموعه رسوبات حوضه سفیدابه) (Tirrul et al, 1983) می‌باشند (شکل ۱). منطقه همت‌آباد در برگیرنده واحدهای میانه‌زیستی و نوزیستی (نظری، ۱۳۷۷ و ۱۳۷۸) بوده که شامل موارد زیر هستند: واحدهای افیولیتی (Oph) با گستردگی در راستای شمال‌باختر - جنوب‌خاور، واحد (ksch): شامل ماسه سنگ، شیل و آهک است که حتی دگرگونی در حد اسلیت - فیلیت تا شیست نشان می‌دهند. واحد (peEf) که تناوبی از شیل و ماسه سنگ‌های چین‌خورده است (شکل ۲). سنگ‌های آتشفشانی (EOt) با تناوبی از گدازه و توف آندزیت - بازالتی.

جدول ۱: ویژگی‌های هندسی چین‌ها در منطقه همت‌آباد

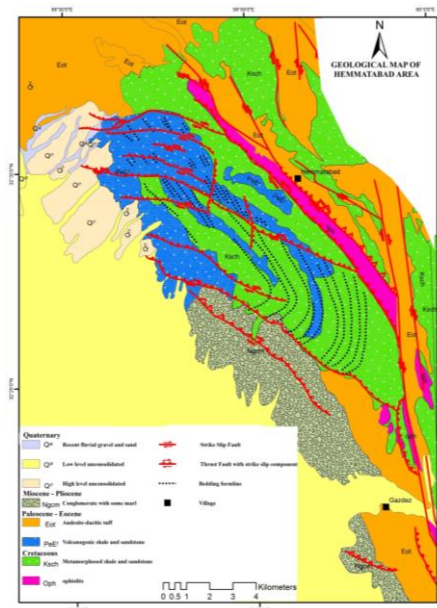
نام چین	محور	اثر محوری	یال شمال‌باختری	یال جنوب‌خاوری	زاویه بین یالی
fo1	N20W, 12	NW-SE	N10W, 73SW	N20W, 67NE	40
fo2	N14W, 20	NW-SE	N8W, 73SW	N25W, 64NE	46
fo3	N23W, 24	NW-SE	N33W, 60NE	N14E, 50NW	44

قرار گرفته‌اند (مانند چین ۴ fo که در شکل ۴ بین گسل‌های F8, F4 قرار گرفته و همچنین چین‌های کوچک مقیاس شکل ۲)، می‌توان چنین استنباط نمود که رانش مواد و تغییر شیب در یال چین‌ها با سازوکار گسل‌های راندگی منطقه همخوانی دارد. با توجه به نقشه زمین‌شناسی (شکل ۳) و نقشه ساختاری (شکل ۴)، با حرکت از شمال‌خاور به جنوب‌باختر می‌توان به ترتیب رخنمون افیولیت، رسوبی‌های چین‌خورده کرتاسه - ترشیر را مشاهده نمود که به سمت جنوب‌باختر اثر این چین‌ها کمتر به چشم می‌خورد که می‌تواند دلیل مناسبی برای رشد ساختارها از شمال‌خاور به سمت جنوب‌باختر باشد.

اختلاف شیب یال‌ها در چین‌های مذکور حاکی از آن است که یال پرشیب در سمت جنوب‌باختر و یال کم‌شیب در سمت شمال‌خاور قرار دارد (شکل ۲). این پدیده می‌تواند نشانگر رانش مواد به سمت جنوب‌باختر باشد (McClay, 1992). علاوه بر این محور چین‌ها با روند شمال‌باختر - جنوب‌خاور دارای میل به سمت شمال‌باختر می‌باشد که با توجه به گسترش واحدهای سنگی (شمال‌باختر - جنوب‌خاور) و کاهش رخنمون افیولیت‌ها به سمت شمال‌باختر می‌تواند حاکی از شروع برخاستگی از جنوب‌خاور به سمت شمال‌باختر باشد. با توجه به اینکه چین‌های این منطقه در محدوده‌ای بین گسل‌های راندگی



شکل ۲: چین خوردگی در شیل و ماسه سنگ ترشیر - در هر دو عکس، سوی رانش به سمت جنوب باختر می باشد.



شکل ۳: نقشه زمین شناسی منطقه همت آباد (سن واحدها بر مبنای نقشه سربیشه مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، نظری و همکاران، ۱۳۷۸)

گسل های منطقه مورد مطالعه

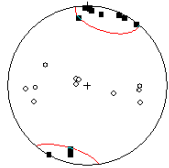
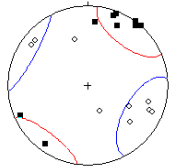
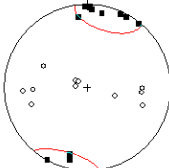
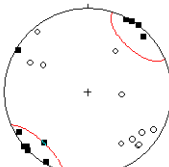
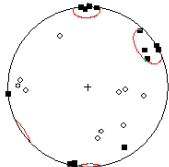
می توان میانگین روند N25E برای آن در نظر گرفت. تاثیر این مولفه فشردگی بر گسل های منطقه دو سازوکار متفاوت ایجاد کرده است به نحوی که در پهنه های گسلی شمالی - جنوبی بیشتر مولفه برشی و در پهنه های شمال باختری - جنوب خاوری بیشتر مولفه فشاری حاکم گردیده است. مهم ترین گسل شمالی - جنوبی منطقه که در بخش خاوری قرار دارد پهنه گسلی چشمه زنگی است که دارای سازوکار امتداد لغز راست گرد با مولفه معکوس است (کریمی و همکاران، ۱۳۹۱). گسل همت آباد با امتداد شمال باختری - جنوب خاوری در مرز واحدهای افیولیتی، با تداوم به جنوب خاور به گسل شمالی - جنوبی چشمه زنگی متصل می گردد (غلامی و همکاران، ۱۳۸۸). نقش مولفه فشاری در بخش شمال باختر - جنوب خاوری منطقه باعث گردیده که واحدهای رسوبی کرتاسه در حدواسط روستاهای همت آباد و چشمه زنگی حالت چین خوردگی بزرگ مقیاسی را نشان دهند (شکل ۳). نظر به اینکه گسل های شمال باختری - جنوب خاوری دارای مولفه راندگی هستند

گسل های اصلی منطقه امتداد شمالی - جنوبی و شمال باختری - جنوب خاوری دارند. براساس اندازه گیری موقعیت هندسی صفحه گسل و خطواره لغزشی در راستای هر یک از گسل ها (شکل ۴)، موقعیت میانگین و ویژگی گسل های منطقه در جدول ۲ آمده است. براساس هندسه و سازوکار گسل ها و با استفاده از روش دووجهی عمود بر هم، محدوده های فشردگی و کشیدگی در منطقه تعیین گردید. در این روش با استفاده از هندسه گسل و خطواره لغزشی موقعیت محور تنش حدواسط تعیین گردیده سپس براساس سازوکار گسل موقعیت صفحه اصلی تنش و محورهای بزرگ و کوچک تنش تعیین می شوند. مطابق جدول ۲ نقاط تیره معرف محدوده فشردگی (موقعیت محور بزرگ تنش) و نقاط روشن معرف محدوده کشیدگی (موقعیت محور کوچک تنش) می باشند. دامنه نوسانات موقعیت محور اصلی فشردگی در منطقه مطالعه، در محدوده شمال خاوری (N00- N65E) قرار دارد که

می‌باشند. در ادامه شمال‌باختری گسل همت‌آباد تنها شواهدی از بریدگی و فرازگیری مخروطه افکنه‌های قدیمی در بخش جنوب - جنوب‌باختری کوهستان دیده می‌شود که با توجه به انحراف آبراهه‌ها، می‌توان مولفه امتدادلغز راست‌گرد برای گسل‌های پنهان در نظر گرفت لذا این نحوه فعالیت در راستای پهنه‌های گسلی شمال‌باختری - جنوب‌خاوری حاکی از رشد کوهستان به سمت جنوب‌باختر می‌باشد (علیمی، ۱۳۹۴).

و در یک برش، از شمال‌خاور به سمت جنوب‌باختر می‌توان این پهنه‌ها را در مرز واحدهای افیولیتی، رسوبی‌های کرتاسه، رسوبی‌های ترشیر و مرز کوه و دشت مشاهده نمود، لذا با توجه به موقعیت هندسی چین‌ها، گسل‌ها و سازوکار آنها و نحوه گسترش واحدهای سنگی، می‌توان فعالیت گسل‌های بخش شمال‌خاوری را قدیمی‌تر از گسل‌هایی دانست که در بخش جنوب‌باختری فعالیت دارند و در حقیقت یک سری از گسل‌های راندگی (به صورت فلسی) هستند که از شمال‌خاور به جنوب‌باختر در حال رشد

جدول ۲: ویژگی‌های هندسی و جنبشی گسل‌ها در منطقه همت‌آباد

نام گسل	موقعیت هندسی گسل	ریک بردار لغزشی	سازوکار	میانگین موقعیت محورها فشرده‌گی و کشیدگی (نقاط تیره فشرده‌گی - نقاط روشن کشیدگی)
همت‌آباد	N40W, 63 NE	53NW	معکوس راست‌گرد	
چشمه زنگی	N11W, 75 NE	25NW	راست‌گرد با مولفه معکوس	
F1	N78W, 60 NE	56NW	معکوس راست‌گرد	
F2	N43W, 68 NE	53NW	معکوس راست‌گرد	
F3	N60W, 58 NE	40NW	راست‌گرد معکوس	
F4	N68W, 68 NE	42NW	راست‌گرد معکوس	
F5	N10E, 55 SE	55NE	معکوس راست‌گرد	
F6	N15E, 74SE	40NE	معکوس راست‌گرد	
F7	N80W, 48NE	63NW	معکوس راست‌گرد	
F8	N58W, 63NE	42NW	راست‌گرد معکوس	
F9	N75W, 50 NE	25NW	راست‌گرد معکوس	
F10	N87W, 78NE	20NW	راست‌گرد معکوس	
F11	N75W, 83NE	30NW	راست‌گرد معکوس	
F12	N75W, 76NE	35NW	راست‌گرد معکوس	
F13	N68W, 78NE	30NW	راست‌گرد معکوس	

بحث و نتایج

شواهد ریخت زمین‌ساختی در منطقه همت‌آباد

به علت تعامل بین حرکات زمین‌ساختی و تغییرات رودخانه‌ای، با استفاده از شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی می‌توان به تحلیل زمین‌ساخت فعال در یک منطقه پرداخت (Keller, 1996; Burbank and Anderson, 2001; Guccione et al, 2001; Schoorl and Veldkamp, 2003; Synder et al, 2003; Stevens, 1974). در منطقه همت‌آباد تعدادی شواهد ریخت‌زمین‌ساختی از قبیل: رودخانه‌های جابجا شده (Offset Streams)، پشته‌های کرکره‌ای (Shutter Ridges)، پرتگاه‌های گسلی (Fault Scarps) مورد

بررسی قرار گرفت. در دو مسیر موازی هم، از جنوب‌خاور به شمال‌باختر (مسیرهای a, b در هر مسیر ۷ ایستگاه) میزان جابجایی برای ۱۴ آبراهه اندازه‌گیری شد (شکل ۵). نتایج نشان می‌دهد که در منطقه همت‌آباد بیشترین فعالیت زمین‌ساختی به بخش‌های جنوب‌خاوری تعلق دارد. بخش جنوب‌خاوری که به پهنه اصلی گسل نهبندان نزدیک‌تر است فعالیت بیشتری نسبت به بخش شمال‌باختری دارد. رودخانه‌های جابجا شده: انحراف آبراهه‌ها از مسیر اصلی، نشانگر حرکت راست‌گرد گسل می‌باشد (شکل ۶). از جنوب‌خاور به شمال‌باختر مقدار جابجایی آبراهه‌ها متغیر است (جدول ۳).

جدول ۳: میزان جابجایی در آبراهه‌ها در مسیرهای a, b

شماره ایستگاه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
جابجایی در مسیر a (متر)	۶۸	۸۴	۱۱۶	۷۶	۷۲	۴۳	۲۴
جابجایی در مسیر b (متر)	۱۰۰	۵۴	۳۸	۲۵	۱۲	۸	۶

حالت پلکانی ایجاد کند و با توجه به اینکه در منطقه مورد مطالعه با حرکت از ارتفاعات به سوی دشت (از شمال‌خاور به جنوب‌باختر به خصوص در بخش میانی برش‌های ۱، ۲ و ۳) این پلکان‌ها ظهور بیشتری دارند لذا این پدیده نشانگر رشد به سمت جنوب‌باختر، در پهنه‌های گسلی می‌باشد. بدین ترتیب که ابتدا دگرشکلی در بخش شمال‌خاور منطقه آغاز شده و باعث ایجاد پهنه‌های گسلی گردیده است و سپس دگرشکلی در بخش جنوب‌باختری ادامه یافته و پهنه‌های گسلی جدیدی شکل گرفته‌اند. به همین ترتیب این فرایند تداوم یافته است و گسل‌های جدید ایجاد شده‌اند. لذا پهنه‌های گسلی قدیمی در بخش شمال‌خاور و پهنه‌های گسلی جوان‌تر در بخش جنوب‌باختر منطقه قرار دارند. وجود این پلکان‌ها در برش‌های ۱، ۲ و ۳ در مقایسه با سایر برش‌ها و همچنین ظهور گسل راندگی در جنوب روستای گزدز (شکل ۴)، حاکی از بیشتر بودن رشد راندگی‌ها در بخش جنوب‌خاوری در مقایسه با بخش شمال‌باختری منطقه است که این موضوع در بخش مربوط به میزان جابجایی آبراهه‌ها نیز بیان گردید. به بیان دیگر، در محل تلاقی دو روند ساختاری اصلی (بخش جنوب‌خاوری)، میزان فعالیت زمین‌ساختی زیاد است و به سمت شمال‌باختر میزان فعالیت آن کاهش می‌یابد.

مخروط‌افکنه‌ها نیز تحت کنترل دینامیک و تحول پذیری سامانه آبراهه‌ها بوده و چگونگی فعالیت‌های زمین‌ساختی نقش تعیین‌کننده‌ای در فرایندهای زمین‌ریختی از نظر فرسایش و رسوبگذاری در سطح مخروط افکنه دارند (Viseras et al, 2003). وجود مخروط افکنه‌هایی با کاهش گستردگی از قدیم به جدید در بخش جنوب‌باختری منطقه، نشانگر برخاستگی منطقه به صورت مرحله‌ای می‌باشد (Lecce, 1990).

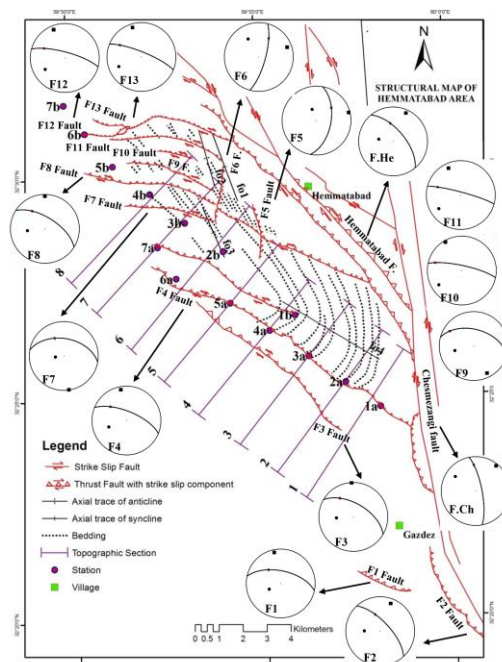
پشته‌های کرکره‌ای و پرتگاه‌های گسلی: مورفولوژی پشته‌های کرکره‌ای در جایی شکل می‌گیرد که پهنه گسلی باعث ایجاد برآمدگی گشته و آبراهه‌ها باعث بریده شدن و فرسایش این توپوگرافی گردند. لذا این پشته‌ها یکی از پارامترهای شناخت محل پهنه‌های گسلی هستند. در منطقه مورد مطالعه نیز در مرز کوه و دشت می‌توان پشته‌هایی مشاهده نمود (شکل ۷) که نشانگر برخاستگی ناشی از فعالیت گسل‌های راندگی بوده و فرسایش باعث ایجاد این مورفولوژی گردیده است. برای مشخص شدن تغییرات توپوگرافی و شناسایی پرتگاه‌های گسلی در منطقه مورد مطالعه و موازی با امتداد پهنه گسلی همت‌آباد، تعداد هشت برش عرضی توپوگرافی تهیه گردید (شکل ۴) که نتایج گرافیکی آن در شکل ۸ ارائه شده است: از آنجا که رشد گسل‌های راندگی می‌تواند در برش‌های توپوگرافی

نسبت V : این نسبت براساس فرمول $V = Av/AC$ محاسبه می‌شود که در آن Av مساحت دره در مقطع قائم و AC مساحت نیم‌دایره محاط کننده دره در مقطع قائم می‌باشد. در دره‌های عریض نسبت V به ۱ نزدیک و گاهی از ۱ بیشتر است و در دره‌هایی که تحت اثر بالآمدگی زمین‌ساختی قرار می‌گیرند، برش قائم دره به شکل V خواهد بود و مقدار نسبت V از ۱ کمتر می‌باشد (Bull and Mack)

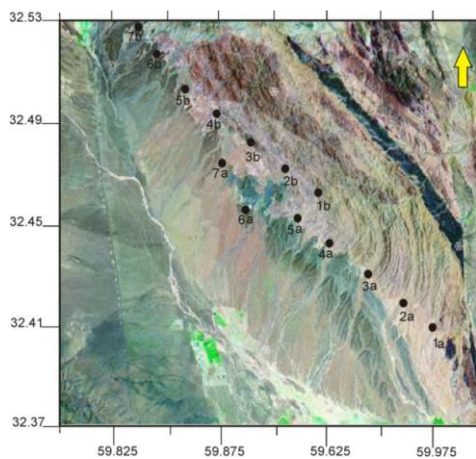
نتایج حاصل از بررسی شاخص نسبت V در دره‌های مختلف (جدول ۴) حاکی از این است که در قسمت جنوب‌خاوری منطقه نسبت به قسمت شمال‌باختری، مقدار این شاخص کمتر است و نشان دهنده این است که قسمت جنوب‌خاوری منطقه بالآمدگی بیشتری داشته است.

جدول ۴: مقادیر شاخص نسبت V در مسیرهای a, b

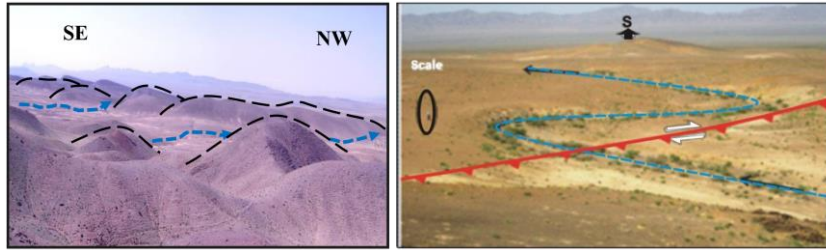
شماره ایستگاه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷
نسبت V در مسیر a	۰/۳۳	۰/۳۱	۰/۳۸	۰/۵۸	۰/۴۷	۰/۴۸	۰/۴۰
نسبت V در مسیر b	۰/۳۸	۰/۳۵	۰/۳۹	۰/۴۰	۰/۴۲	۰/۴۶	۰/۴۰



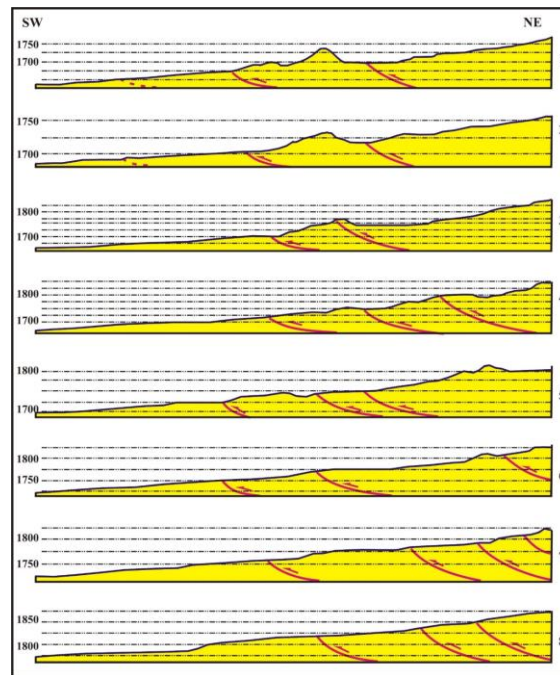
شکل ۴: نقشه ساختاری منطقه همت‌آباد با نمایش استریوگرام گسل‌ها شامل خطواره لغزشی، محور فشردگی (مربع)، محور کشیدگی (دایره).



شکل ۵: موقعیت ایستگاه‌های بررسی شواهد ریخت‌زمین‌ساختی



شکل ۶: جابجایی راست گرد در مسیر رودخانه شکل ۷: نمونه‌ای از پشته‌های کرکره‌ای در جنوب‌باختر منطقه



شکل ۸: برش‌های توپوگرافی هشت گانه با نمایش رشد سری گسل‌های راندگی در منطقه مورد مطالعه

الگوی ساختاری

براساس نتایج حاصل از بررسی پهنه‌های گسلی (شامل موقعیت هندسی گسل، خطواره لغزشی و سازوکار گسل مطابق جدول ۲) و همچنین وضعیت محور و سطح محوری چین‌ها (جدول ۱)، نحوه رخنمون واحدهای سنگی در نقشه زمین‌شناسی (شکل ۲) و بررسی ویژگی‌های ریخت‌زمین‌ساختی (جدول‌های ۳ و ۴) در منطقه مورد مطالعه می‌توان مدل ساختاری بدین شرح ارائه نمود (شکل ۹). ابتدا گسل همت‌آباد در مرز مجموعه‌های افیولیتی با امتداد شمال‌باختری - جنوب‌خاوری و شیب به شمال‌خاور، به‌صورت معکوس راست‌گرد عمل کرده و سبب رانده شدن واحدهای افیولیتی بر روی واحدهای ترشیر شده است. به دلیل روند شمال‌خاوری محور اصلی فشردگی، مولفه امتداد لغز آن به صورت راست‌گرد و مولفه شیبی آن به صورت راندگی عمل کرده است. رخنمون، واحدهای افیولیتی در بخش شمال‌خاوری این منطقه و همچنین

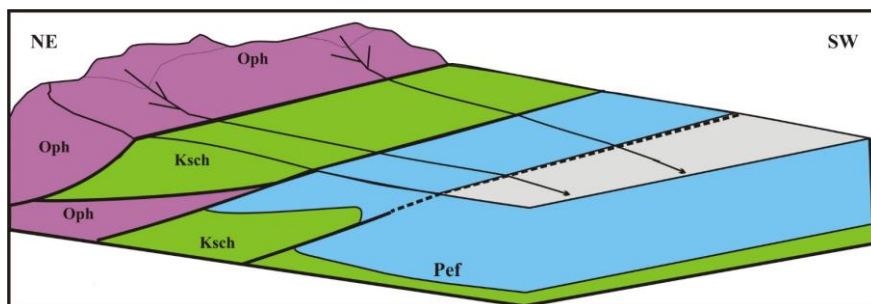
تاکید پژوهش‌های قبلی (Gholami et al, 2009). بر نقش مولفه راندگی در پهنه‌های گسلی شمال‌باختری - جنوب‌خاوری، نشانگر آن است که رشد کوهستان از بخش شمال‌خاور و در پهنه‌های گسلی راندگی آغاز گردیده است. در ادامه سیر تکامل ساختاری منطقه، در بخش جنوب‌باختری گسل اولیه، گسل جدیدی (مانند گسل F8 در شکل ۴) هم‌شیب و هم‌راستای پهنه گسل قبلی (NW-SE) دارای مولفه راندگی تشکیل شده که باعث برخاستگی، ایجاد چین‌ها و انحراف آبراهه‌ها گردیده است. تنش فشاری اعمال شده در راستای شمال‌خاور - جنوب‌باختر سبب چین‌خوردگی واحدهای رسوبی کرتاسه و لایه‌های شیل و ماسه‌سنگی پالئوسن - ائوسن گردیده و چین‌های منطقه رشد می‌کنند. همچنین تداوم اعمال تنش فشاری موجب راندگی و رخنمون رسوبی‌های کرتاسه می‌شود. در هر یک از این مراحل ممکن است گسل‌های جدید موازی یا با زاویه کم نسبت به گسل اصلی ایجاد می‌شوند که همان پهنه‌های

برش گردیده‌اند لذا مولفه امتداد لغز در آنها نقش بیشتری داشته است. در گسل‌های شمال باختری - جنوب خاوری (مانند پهنه گسلی همت‌آباد) که نسبت به محور فشردگی زاویه بزرگتری (نزدیک به حالت عمود) داشته‌اند، مولفه معکوس نقش موثرتری ایفا نموده است. شواهد ریخت‌زمین‌ساختی مانند: جابجایی آبراهه‌ها، ایجاد پشته‌های کرکره‌ای و ظهور پرتگاه‌های گسلی در منطقه همت‌آباد حاکی از کاهش میزان برخاستگی در محل پهنه‌های گسلی از شمال خاور به جنوب باختر می‌باشد. مقدار انحراف آبراهه‌ها در بخش‌های جنوب خاوری (بین ۶۸-۱۰۰ متر) به سمت شمال باختر (بین ۲۴-۶ متر) کاهش می‌یابد. لذا میزان فعالیت زمین‌ساختی براساس شاخص‌های ریخت‌زمین‌ساختی در بخش جنوب خاوری بیشتر از بخش شمال باختری در این منطقه است. این پدیده نشانگر تاثیر متقابل پهنه‌های گسلی شمالی - جنوبی و پهنه‌های گسلی شمال باختری - جنوب خاوری است. بدین ترتیب که فعالیت پهنه‌های گسلی شمالی - جنوبی (با غلبه مولفه برشی) باعث گردیده است که دگرشکلی بیشتری در محل تلاقی دو روند اصلی ایجاد شود همچنین تداوم حرکت در پهنه‌های شمالی - جنوبی باعث رشد گسل‌های راندگی در روند شمال باختری - جنوب خاوری گردیده است. با توجه به گسترش واحدهای سنگی (کرتاسه - ائوسن)، فرایند ایجاد و توسعه گسل‌های راندگی در زمان‌های مختلف (کرتاسه - ائوسن و حتی کواترنر) انجام شده است. بر این اساس نحوه رشد ساختارها در این منطقه به صورت ایجاد و تکامل سری گسل‌های راندگی از شمال خاور به سمت جنوب باختر است. به نحوی که قدیمی‌ترین پهنه گسلی (همت‌آباد) در بخش شمال خاوری در مرز افیولیت‌ها و جوان‌ترین پهنه‌های راندگی در بخش جنوب باختر در حال فعالیت هستند.

وابسته به یک سیستم فشاری - برشی می‌باشند. در هنگام عملکرد گسل راندگی جدید (مانند گسل‌های F3, F4 در شکل ۴)، بالآمدگی‌هایی در سطح زمین نمایان می‌شوند که مسیر آبره‌ها را مسدود کرده و باعث می‌شوند که جریان‌های سطحی مسیر جدیدی را انتخاب و بالآمدگی را دور بزنند یا اینکه پشته‌های کرکره‌ای توسعه یابند (این پشته‌ها در برش‌های ۱، ۲ و ۳ در محل رشد گسل جدید نمایان می‌شوند و مانند شکل ۷ در سطح زمین دیده می‌شوند). در این مدل ساختاری، رشد ساختارها از شمال خاور به سمت جنوب باختر می‌باشند. لذا برخاستگی‌های موجود در دشت نیز می‌تواند مقدمه‌ای بر رشد گسل‌های جوان‌تر در بخش جنوب باختری کوهستان باشد. با توجه به هندسه گسل‌های همت‌آباد و چشمه‌زنگی و همچنین رخنمون افیولیت‌ها در محدوده گسل همت‌آباد، می‌توان چنین استنباط نمود که تحت تاثیر یک مولفه فشردگی اولیه، فعالیت این دو پهنه به‌طور همزمان آغاز گردیده است اما تاثیر مولفه برشی در پهنه گسلی چشمه‌زنگی باعث گردیده که مولفه اصلی فشردگی بر روندهای شمال باختری - جنوب خاوری به نحوی تاثیر کند که راندگی‌های جدید مانند F4, F8 نسبت به گسل اصلی (همت‌آباد) با زاویه حاده قرار گیرند. لذا این الگو به روندهای اصلی پهنه ساختاری سیستان قابل تعمیم است.

نتیجه‌گیری

اعمال مولفه اصلی فشردگی در راستای شمال خاور - جنوب باختر (با روند میانگین N25E) سبب فعالیت پهنه‌های گسلی شمالی - جنوبی و شمال باختری - جنوب خاوری در منطقه همت‌آباد گردیده است. گسل‌های شمالی - جنوبی (مانند گسل چشمه‌زنگی) که نسبت به محور فشردگی زاویه کوچکتر (حاده) داشته‌اند بیشتر متحمل



شکل ۹: الگوی ساختاری و نحوه ایجاد گسل‌های راندگی در راستای روندهای شمال باختری - جنوب خاوری (منطقه همت‌آباد).

منابع (References)

- Abbasi S., Heyhat, M.R., Gholami, E. and Zarrinkoub, M.H., 2017. Deformation condition determination and strain analysis: Application of microstructural and microthermometry study of the Zamanabad Shear Zone (East of Iran). *Geotectonics*, v. 51(3), p. 319-330.
- Ahmadi Comijany, N., Khatib, M.M., Gholami, E., Mirab Shabestari, G. and Zarrinkoub, M.H., 2019. Estimation of shortening and vergence in northern part of Sistan Suture Zone for determination of kinematic convergent vectors. *Journal of Advanced Applied Geology*, v. 9(3), p. 232-255.
- Ahmadi Comijany, N., Khatib, M.M., Gholami, E., Mirab Shabestari, G. and Zarrinkoub, M.H., 2020. Investigation on Structural Evolution in Transperssional Zones based on Quantitative data from Measurements of Strain Parameters Case Study: Northern part of Sistan Suture zone, Tutak and Mahirud Regions, *Kharazmi journal of earth sciences*, v. 6(1), p. 21-40.
- Alimi, M.A., 2015. Seismological evaluation of active hidden fault zones (Eastern Iran - South Khorasan). PhD thesis, University of birjand (in Persian).
- Baghbani, M., Gholami, E. and Rostami Barani, H.R., 2017. Seismic Hazard Analysis of Siyaho Dam in South Khorasan province (Eastern Iran), *Journal of Tethys*, v. 4(3), p. 180-199.
- Berberian, M., Jakson, J.A., Qorashi, M., Talebian, M., Khatib, M.M. and Priestley, K., 2000. The 1994 Sefidabeh earthquakes in eastern Iran: blind thrusting and bedding-plane slip on a growing anticline, and active tectonic of the Sistan suture zone, *Geophys. j. Int*, v. 142, p. 283-299.
- Berberian, M. and Yeats, R.S., 2001. Contribution of archaeological data to studies of earthquake history in the Iranian plateau, *Journal of structural geology*, v. 23, p. 563-584.
- Berberian, M., 1988. Geotectonic evolution of the mountains of Iran, the 7th conference of geosciences, geological survey of Iran, Tehran (in Persian).
- Bull, W.B. and MC Fadden, L.D., 1977. Tectonic geomorphology north and south of the Garlock fault, California. *Proceeding of 8th Annual Geomorphology Symposium*, Newyork.
- Burbank, D.W. and Anderson, R.S., 2001. *Tectonic Geomorphology*, Blackwell Sci.Publ. 274 p.
- Camp, V.E. and Griffis, R.J., 1982. Character genesis and tectonic setting of igneous rocks in the Sistan suture zone, eastern Iran, *Lithos*, v. 15, p. 221-239.
- Eftekharnejad, J., 1972. Some content about the formation of Flysch sedimentary basin in eastern Iran and its related to plate tectonic theory. *Geological Survey and Mineral Exploration of Iran*, v. 22, 154 p (in Persian).
- Ezati, M., Gholami, E. and Mousavi, M., 2020. Paleostress regime reconstruction based on brittle structure analysis in the Shekarab Mountain, Eastern Iran, *Arabian Journal of Geosciences*, v. 13(23), p. 1-18.
- Ezati, M., Gholami, E. and Mousavi, M., 2021. Tectonic activity level evaluation using geomorphic indices in the Shekarab Mountains, Eastern Iran, *Arabian Journal of Geosciences*, v. 14(385), p. 1-16.
- Firouz, Q., Khatib, M.M. and Gholami, E., 2011. Analysis and evaluation of earthquake risk - active faulting around the Asadieh city (Eastern Iran), Ms thesis, University of birjand (in Persian).
- Fossen, H., 2010. *Structural geology*, Cambridge university press.
- Freund, R., 1970. Rotation of strike slip faults in sistan, southeast Iran: *Journal of structural geology*, v. 78, p. 188-200.
- Ghasemi-Rozveh, T., Khatib, M.M, Yassaghi, A. and Gholami, E., 2016. Geodynamics and underlying bedrock of the magnetically active crust layer of the Lut block, Eastern Iran. *Geotectonics*, v. 50(3), p. 327-335.
- Ghasemi-Rozveh, T., Khatib, M.M., Yassaghi, A. and Gholami, E., 2017. Using airborne geophysical data in identifying tectonic lineaments in east of Iran, *Geotectonics*, v. 51(3), p. 331-339.
- Gholami, E., Nogolesadat, M.A.A., Khatib, M.M. and Yassaghi, A., 2009. Structural evidences of N-S striking faults effect on deformation development in SE Birjand, Sistan zone, *Geosciences Scientific Quarterly Journal*, v. 18(71), p. 13-18.
- Gholami, A., 2009. Deformation analysis along the main trends in the NNE of Lut Plain, PhD thesis, Tarbiat Modares University (in Persian).

- Guccione, M.J., Mueller, K., Champion, J., Shepherd, S., Carlson, S.D., Odhiambo, B. and Tate, A., 2001. Stream response to repeated coseismic folding, Tiptonville dome, New Madrid seismic zone, *Geomorphology*, v. 43, p. 313-349.
- Han, Z., Wu, L., Ran, Y. and Ye, Y., 2003. The concealed active tectonic and their characteristics as revealed by drainage density in the North China plain (NCP), *Journal of Asian Earth Sciences*, v. 21, p. 989-998.
- Heidari-Aghagol, M., Khatib, M.M., Gholami, E. and Shahsavani, N., 2015. Assessment of relative changes in tectonic activity in the northern part of the fault Ardekul (Eastern Iran), *Journal of Tethys*, v. 3(4), p. 297-310.
- Jalili, Y., Khatib, M.M., Gholami, E. and Ghassemi, M.R., 2015. Geometric-Kinematic Analysis of Folding in Chelounakarea (NW Birjand). *Geosciences*, v. 24(94), p. 163-174.
- Karimi, M., Gholami, E. and Khatib, M.M., 2012. Deformation analysis along the Sarbisheh fault zone in eastern Iran, Ms thesis, University of birjand (in Persian).
- Khatib, M.M. and Shahriari, S., 1997. Fractal analysis of the Nahbandan fault system, *Scientific Quarterly Journal, Geosciences*, v. 24, p. 1-14 (in Persian).
- Porghiasian, F., Gholami, E. and Khatib, M.M., 2015. Assessment of Shear Strain Variation Along Koch Fault Zone Based on Study of Foliation, *Geosciences*, v. 24(94), p. 63-68.
- Samimi, S. and Gholami, E., 2017. Geometric and kinematic analysis of structural elements along north front of Bagharan Kuh Mountain, NE Iran. *Geotectonics*, v. 51(2), p. 192-208.
- Samimi, S., Gholami, E., Khatib, M.M., Madanipour, S. and Lisker, F., 2020, Role of transpressive tectonic regime in configuration of Bibi-Maryam area in the north part of Sistan Suture Zone, eastern Iran, *Tectonics journal*, v. 2(8), p. 29-42.
- Samimi, S., Gholami, E., Khatib, M.M., Madanipour, S. and Lisker, F., 2020. Transpression and Exhumation of Granitoid Plutons along the Northern Part of the Nehbandan Fault System in the Sistan Suture Zone, Eastern Iran, *Geotectonics*, v. 54(1), p. 130-144.
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran; A review. *Am. Assoc. Pet Geoll. Bull*, v. 52, p. 1129-1258.
- Keller, E.A. and pinter, N., 1996. Active tectonics, *Earthquake Uplift and Landscape*, Printice Hall In.
- Lecce, S.A., 1990. The alluvial fan problem, In: A.H. Rachocki and M.Church(eds.). *Alluvial fans: A field approach*
- Mayer, 1986. Tectonic geomorphology of escarpments and mountain fronts, In active tectonic (compiled by Wallace, R. E.) *Nat. Academic press*, Washington, p. 125-135.
- McCall, G.J.H., 1985. Area Report, East Iran Project. Area No. 1. Report No. 57. *Geol. Surv. Iran*, 634 p.
- McClay, K.R., 1992. Thrust tectonics, Chapman and hall.
- Mohammadi Gharetape, A., Gholami, E., Khatib, M.M. and Golchin, M., 2014. Development of structures in a shear stress regime in East Dasht-e Bayaz Fault Zone (East of Iran), *Journal of Tethys*, v. 2(2), p. 101-111.
- Nazari, H., 1998. Structural Geology of Qaleh Sorkh -Nozad fault zone, East of Birjand (Hematabad), *Earth Sciences*, v. 7, p. 74-85 (in Persian).
- Nazari, H., 1999. Geological map of Sarbisheh scale of 1:100000, Geological survey and Mineral Explorations of Iran (in Persian).
- Stevens, G.R., 1974. Rugged landscape, the geology of Central New Zealand. A.h. and A.W. Reed, Wellington, 286 p.
- Schoorl, J.M. and Veldkamp, A., 2003. Late Cenozoic landscape development and its tectonic implications for the Guadalhorce valley near Alora (Southern Spain): *Geomorphology*, v. 50, p. 43-57.
- Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J. and Camp, V.E., 1983. The sistian suture zone of eastern Iran. *Geological Society of America Bulletin*, v. 94, p. 134-150.
- Snyder, N.P., Whipple, K.X., Tucker, G.E. and Merritts, D.J., 2003. Channel response to tectonic forcing: field analysis of stream morphology and hydrology in the Mendecino triple junction region, northern California: *Geomorphology*, v. 53, p. 97-127.
- Viseras, C., Calvache, M.L., Soria, J.M. and Fernandez, J., 2003. Differential features of alluvial fans controlled by tectonic or eustatic accommodation space, Examples from the Betic Cordillera, Spain: *Geomorphology*, v. 50, p. 181-202.

- Walker, R.T. and Jackson, J., 2004. Active tectonic and late Cenozoic strain distribution in central and eastern Iran. *Tectonics*, v. 23, p. 1-17, doi.org/10.1029/2003TC001529.
- Walker, R.T. and Khatib, M.M., 2006. Active faulting in the Birjand region of eastern Iran: *Tectonics*, v. 25, p. 1-17.
- Walker, R.T., Jackson, J. and Baker, C., 2004. Active faulting and seismicity of the Dasht-e-

Bayaz region, eastern Iran: *Geophysical Journal International*, v. 157, p. 265-282.

- Yazdanpanah, H., Khatib, M.M., Nazari, H. and Gholami, E., 2015. Analysis of preliminary paleoseismic results and seismotectonic data in Qaleh-Sorkh fault; East of Iran, *Tectonics journal*.