



## بررسی منطقه تخریب در پایانه گسل سنگ بست - شاندیز

علی کیوان زراعتکار<sup>۱\*</sup>، بهنام رحیمی<sup>۲</sup>

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد تکتونیک، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۲. دانشیار گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

Keyvan\_zeraatkar@yahoo.com

خراسان شمالی، شیروان، ابودرغفاری ۱۹، جنب کابینت سازی پروین، پلاک ۲۹۰، تلفن: 03983533799

### چکیده

سامانه گسل سنگ بست- شاندیز با پهنای متوسط ۳ کیلومتر، طول ۸۵ کیلومتر و روند شمال غرب جنوب شرق، از فاصله ۱۵ کیلومتری غرب شهر مشهد می‌گذرد و از جمله گسل‌های اصلی کوه‌های بینالود است که با توجه به شواهد زمین‌ریختی، دارای حرکت راندگی با مؤلفه راست رو می‌باشد. در پایانه جنوب شرقی گسل، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، سه شاخه اصلی گسل شناسایی شد. گسل‌های منشعب از روند کلی گسل پیروی می‌کنند اما از سمت شرق به غرب دچار خمش راستگرد می‌شوند بطوریکه هرچه به سمت غرب پیش برویم بر میزان انحنای آن‌ها افزوده می‌شود. بر اساس داده‌های ژئوفیزیکی مغناطیس‌هوایی، در این منطقه شواهدی از نازک‌شدگی پوسته و استرس کششی وجود دارد. علاوه بر این اطلاعات لرزه‌ای نیز نشانگر وقوع زمین‌لرزه‌هایی با امتداد و سیستم مشخص در ناحیه هستند. در نهایت با انجام مطالعات صحرایی مشخص شد که در این منطقه گسل‌های نرمال، درزه‌های کششی سیستماتیک، و چشمه‌های آب شور و تراورتن ساز (چشمه‌های گرو) وجود دارند که از سمت شرق به غرب توسعه یافته‌اند. بنابراین با بررسی الگوی توزیع زمین‌لرزه‌ها و چشمه‌های گرو در منطقه به روش "Fry" و انجام مطالعات درزه‌نگاری، طبق الگوی درزه‌ها نسبت به روند گسل می‌توان منطقه تخریب پایانه گسل سنگ بست- شاندیز را در سمت جنوب شرق از نوع "دم‌اسبی" معرفی کرد.

**واژگان کلیدی:** گسل سنگ بست- شاندیز، زون تخریب پایانه گسل، چشمه‌های گرو.

## Survey of Sangbast- Shandiz Fault's Tip Damage Zone

### Abstract

Sangbast- Shandiz fault zone with ~3 km wide, 85 Km length, and NW- SE strike; is located about 15 km in west of Mashhad city. That is one of the major faults in Binalud Mountain, and by geomorphic features studies it's a thrust fault with dextral sense.

By satellite picture analysis illustrated that fault tip divided to three branches, that bending right (releasing) from E to W. Base on aeromagnetic and seismic data we find out that, fault tip has an extensional strain and systematic earthquake distribution. So in field geology we

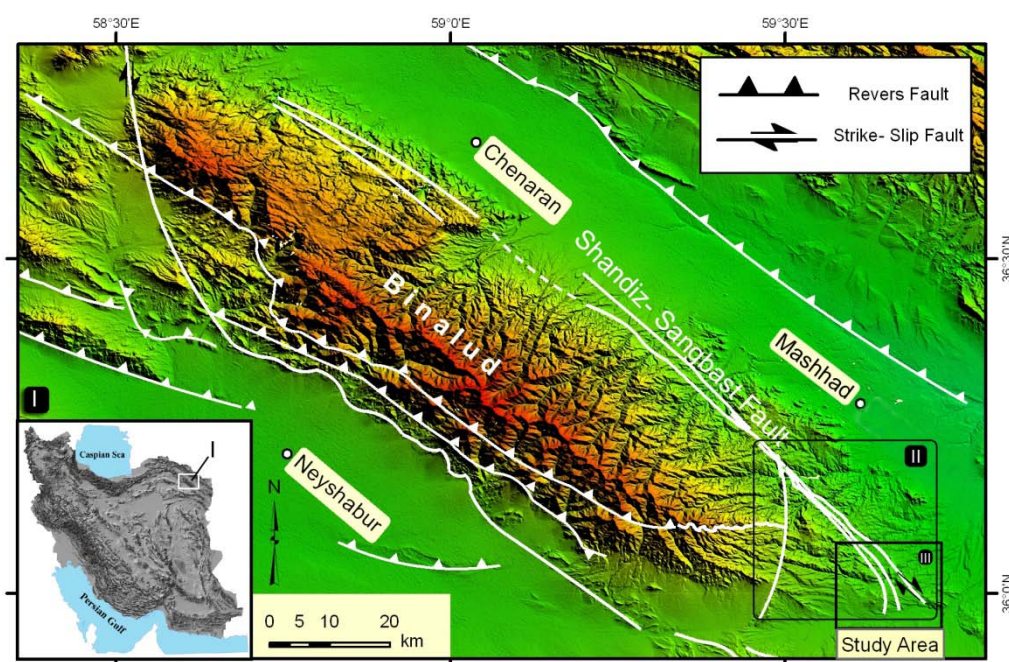
find normal faults, systematic extensional fractures, and briny springs with travertine sediments (Garo springs), that developed from E to W.

Therefore by survey of earthquakes and Garo springs distribution by "Fry" method, and joint studies, we can say type of Sangbast- Shandiz fault's damage zone pattern is Horse tail.

**Keywords:** Sangbast- Shandiz Fault, Fault Tip Damage Zone, Garo Springs.

## ۱. مقدمه

کوه های بینالود در شمال شرق ایران واقع اند و بخش شرقی رشته کوه البرز را تشکیل می دهند ( 1992 و Alavi, 1979, 1991). تکتونیک این ناحیه پوسته نازک است و بوسیله گسلش های تراست که به فرم پشته طاق شکل از شمال شرق به جنوب غرب انتشار یافته اند، مشخص می شود ( 1992 و Alavi, 1991). این کوه ها ناحیه ای کلیدی جهت توصیف تغییرات کواترنری در مرز شمال شرقی برخورد اوراسیا- عربستان است و میزان جابجایی بین دو طرف آن ۲-۴ mm/yr و از نوع امتداد لغز راست رو می باشد ( Shabanian et al., 2009). سامانه گسل سنگ بست- شاندیز با پهنای متوسط ۳ کیلومتر، طول ۸۵ کیلومتر و روند شمال غرب- جنوب شرق (N۴۵W)، از فاصله ۱۵ کیلومتری غرب شهر مشهد می گذرد و از جمله گسل های اصلی احاطه کننده کوه های بینالود است (Shabanian et al., 2010a) (شکل ۱). ساز و کار این گسل مورب لغز از نوع تراست راست گرد می باشد (قنادان، ۱۳۸۵ و ۱۳۸۸؛ Shabanian et al., 2010a) و از نظر فعالیت های لرزه ای و آثار جابجایی در رسوبات کواترنری، می تواند گویای جنبش در عهد حاضر باشد (بربریان و همکاران، ۱۳۷۸؛ حافظی مقدس، ۱۳۸۷).



شکل ۱. تصویر سیستم گسلی کوه های بینالود، نقشه ارتفاعی رقومی SRTM (I)؛ منطقه تخریب گسل سنگ بست- شاندیز (II)؛ محدوده مطالعات صحرائی (III).

با توجه به تغییر رژیم استرس در طی سنوزویک پسین (۳-۵ Ma) (Shabanian et al., 2010a)، نسبت و نحوه دگرریختی در ناحیه بینالود تغییر کرده و جنبایی گسل سنگ بست- شاندیز از حالت تراستی به

امتداد لغز تبدیل شده است. بنابراین به دلیل هم راستا بودن گسل سنگ بست- شانديز با مرز برخورد ایران- توران (Alavi, 1979) و حرکت رو به شمال ایران مرکزی، این گسل تحت تأثیر حداکثر استرس با امتداد E  $30^{\circ} \pm 15^{\circ}$  حول یک محور عمودی با سرعت لغزش  $1/6 \pm 0/1$  mm/yr طی کواترنر میانی- پسین، می چرخد (Shabanian et al., 2010a,b, 2009).

محدوده مطالعاتی، در پایانه جنوب شرقی گسل سنگ بست- شانديز قرار گرفته است (شکل ۱). رفتار گسل در این ناحیه از نوع شکننده بوده (قنادان، ۱۳۸۵ و ۱۳۸۸؛ Shabanian et al., 2010a) و از میان رسوبات تراورتن، سنگ آهک و ماسه سنگ می گذرد (آقانیاتی، ۱۳۶۵). بر اساس طبقه بندی هندسی و موقعیت شکستگی های فراوان اطراف گسل (Kim and Sanderson, 2006)، این منطقه جزء "منطقه تخریب پایانه" محسوب می شود. منطقه تخریب پایانه، اطلاعات بسیاری را پیرامون تاریخچه انتشار و رشد گسل ثبت کرده و در مطالعه تکامل گسل اهمیت بسیاری دارد (Kim and Sanderson, 2006; Kim et al., 1998, 2004).

## ۲. بحث

یک منطقه تخریب در طی آغاز، انتشار، برهم کنش و افزایش لغزش در طول گسل تشکیل می شود و احتمالاً ماهیت آن را عواملی چون سنگ شناسی، شیب طبقه بندی نسبت به امتداد لغزش گسل، و سیستم استرس کنترل می کنند (Kim et al., 2004).

### ۱.۲. خصوصیات تکتونیکی و زمین شناسی عمومی

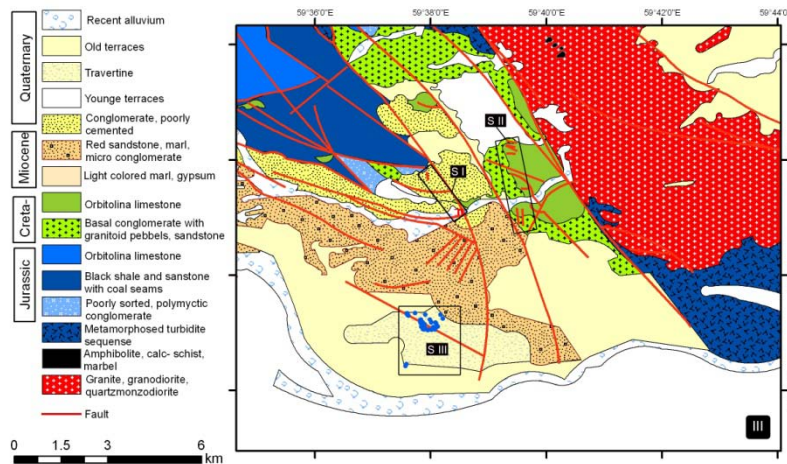
گسل های تراستی ناحیه بینالود توالی های سنگی پالئوزویک پایین، ژوراسیک، کرتاسه و سنوزویک را بعلاوه بقایای اقیانوس پالئوتتیس در امتداد جنوب غرب جابجا کرده اند (Alavi, 1992, 1979). گسل سنگ بست- شانديز نیز در پایانه خود موجب جابجایی امتدادی در ماسه سنگ، مارن و کنگلومرای ریز دانه میوسن، تراورتن های کواترنری، پادگانه ها و مخروط افکنه های قدیمی کواترنر، و آبرفت های عهد حاضر شده است (آقانیاتی، ۱۳۶۵؛ شاه بیگ، ۱۳۷۲) (شکل ۲).

در این پایانه گسل، چشمه های آب سرد سدیم کلرید داری وجود دارند که به چشمه های گرو (گر آب) معروفند. آب این چشمه ها شور مزه و با خروج گاز کربن دی اکسید همراه است (شاه بیگ، ۱۳۷۲). ترکیب آب این چشمه ها از نظر میزان مواد معدنی محلول، بسیار غنی است و تراورتن و نمک را رسوب می دهند.

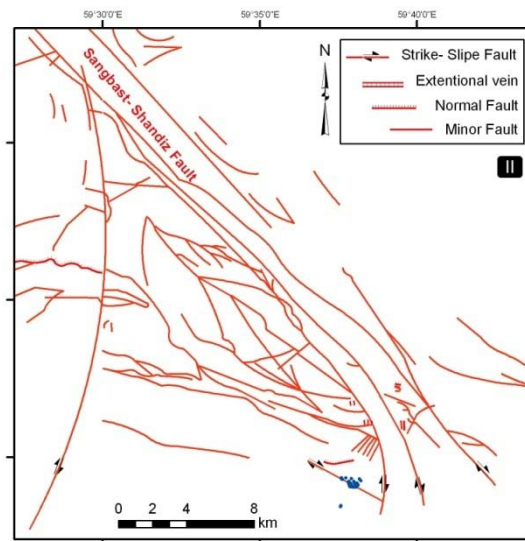
### ۲.۲. جهت یابی و جایگیری گسل ها و شکستگی ها

تصاویر هوایی (مقیاس ۱:۲۰۰۰۰)، تصاویر ماهواره ای Landsat، تصاویر ماهواره ای GoogleEarth، و نقشه های ارتفاعی رقومی SRTM محدوده مطالعاتی، توسط نرم افزار ArcGIS مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته اند. نتایج حاصل از این بررسی ها نشان دهنده وجود سه شاخه گسل امتدادلغز است که جزو سامانه گسل سنگ بست شانديز می باشند و با توجه به نحوه جابجایی آبراهه ها و واحد های سنگ شناسی موجود،

دارای حرکت راست رو هستند (شکل ۳). شکستگی های فرعی، اطراف این سه شاخه گسترش دارند بطوریکه از سمت شرق به غرب بر میزان فراوانی آن ها افزوده می گردد و این نشان دهنده تمرکز استرس در پایانه گسل است (Kim, Sanderson., 2006) (شکل ۳).



شکل ۲. نقشه زمین شناسی، بهبود یافته نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ طاهری و قائمی، ۱۳۷۲؛ مستطیل های SI, SII & SIII نشان دهنده محدوده مطالعات صحرایی است.

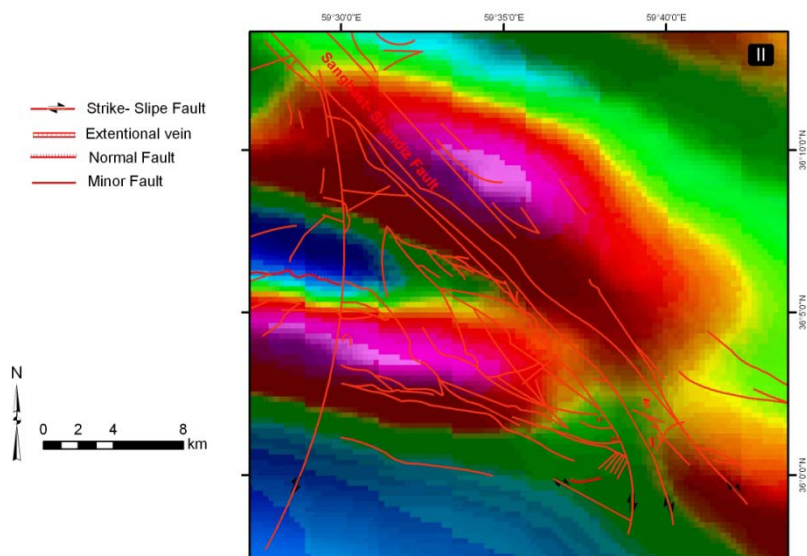


شکل ۳. نقشه شکستگی ها و گسلش در منطقه تخریب پایانه گسل سنگ بست- شانديز.

الگوی گسل ها و شکستگی ها در این منطقه تخریب، طوریکه سه شاخه اصلی گسل دچار خمش راست گرد شده و با توجه به نحوه جنبایش فعلی سامانه، موجب تشکیل گسل های نرمال و ترک های کششی در منطقه گشته است. از سمت شرق به غرب بر میزان انحنای راست گرد این سه گسل افزوده می شود. شکستگی های فرعی نسبت به روند گسل، زاویه ۴۰-۵۰ درجه می سازند و در محل انحنای غربی پایانه گسل، تمرکز بیشتری را نشان می دهند. برخی از این شکستگی ها بصورت گسل های هم آوا (Synthetic) دیده می شوند.

## ۱.۲.۲. شواهد ژئوفیزیکی مغناطیس هوایی

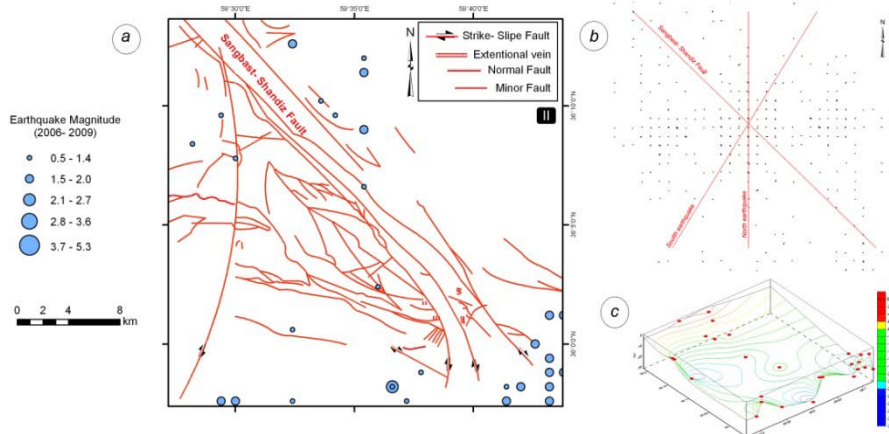
بررسی نقشه های ژئوفیزیکی مغناطیس هوایی (پایگاه ملی داده های علوم زمین) نشان می دهد که در محل گسل آنومالی بالایی از مغناطیس وجود دارد اما در مقابل، محل گسل های نرمال و همچنین پایانه سامانه گسلی سنگ بست- شاندیز، نمایانگر کاهش میزان آنومالی مغناطیسی هستند (شکل ۴).



شکل ۴. نقشه ژئوفیزیکی مغناطیس هوایی (پایگاه ملی داده های علوم زمین) و ارتباط آن با گسلش و شکستگی در پایانه گسل سنگ بست- شاندیز.

## ۲.۲.۲. داده های زمین لرزه ای

با پیاده سازی داده های لرزه ای کوچک (زلزله های ۲۰۰۷ تا ۲۰۰۹، دریافت شده توسط مرکز لرزه نگاری ژئوفیزیک دانشگاه تهران در مشهد) (شکل ۵) مشخص شد که دارای سیستم گسترش معنی داری هستند. آنالیز Fry به روش نقطه به نقطه، در مورد توزیع کانون های سطحی زلزله ها در پایانه گسل، نشان دهنده روند توزیع NS در شرق سامانه گسل، و روند توزیع N۲۵E در غرب این سامانه است.



شکل ۵. ارتباط مراکز کانون سطحی زلزله ها (۲۰۰۷ - ۲۰۰۹) با گسلش و شکستگی ها (a)؛ توزیع Fry مراکز کانونی زمین لرزه (b)؛ تصویر سه بعدی از عمق مراکز زمین لرزه (c).

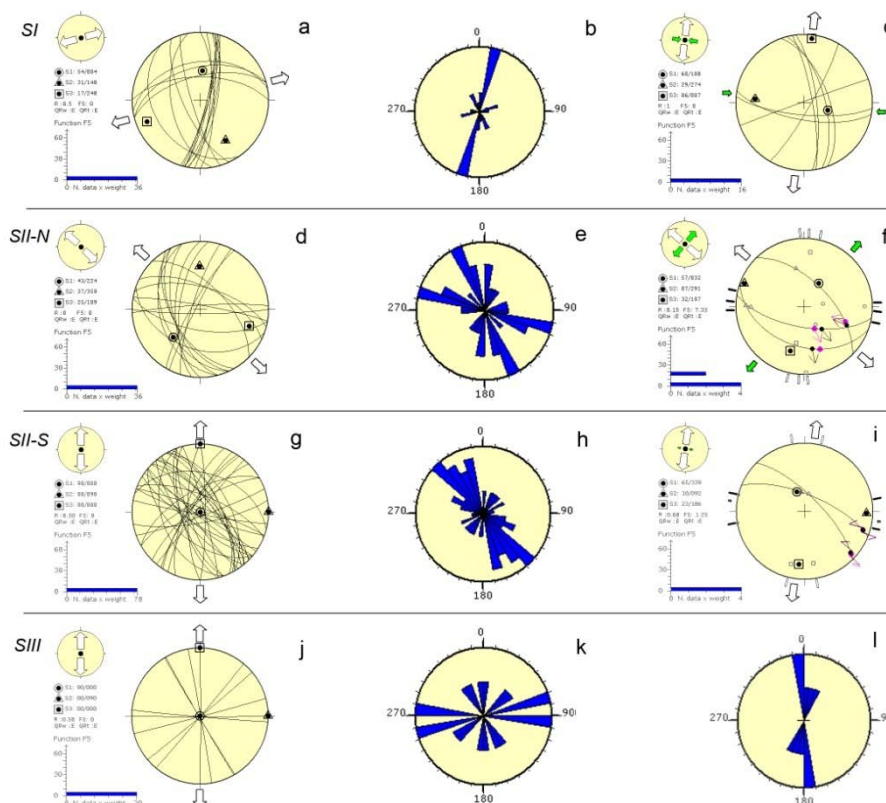
## ۳.۲.۲. مطالعات صحرائی

با در نظر گرفتن سه ایستگاه تحقیقاتی در منطقه به مطالعه زمین شناسی ساختمانی مرتبط با سیستم جنبایی گسل پرداخته شده است (شکل ۲).

مطالعات تعیین استرس دیرین توسط نرم افزار Win\_Tensor (Delvaux and Barth, 2010) انجام گرفته و فرض برای بوده است که: (۱) جنبش تکتونیکی که باعث حرکت گسل ها شده تحت یک تنسور خاص همگن صورت گرفته است؛ (۲) خواص فیزیکی سنگ همگن بوده و جهت خش لغز روی صفحه گسل ( $S_k$ ) همان جهت تنش برشی بیشینه است؛ (۳) جنبش تکتونیکی که موجب ایجاد گسلش شده، بصورت یکباره عمل کرده و صفحه گسل در حین این رویداد دچار هیچ چرخشی نشده است؛ (۴) در طی این رویداد تکتونیکی، هیچ تغییر حجمی در توده سنگی وجود ندارد.

### ۱.۳.۲.۲ ایستگاه (SI)

درزه نگاری و برداشت خطوط لغزش گسلی در واحدهای سنگی کوارتز کنگلومرا و سنگ آهک انجام شده و نشانگر ترک های کششی با پرشدگی تراورتن و کلسیت در منطقه است (شکل ۶). در این میان دو سیستم لغزش قدیمی از نوع شیپی نیز به همراه سیستم جوان امتدادی، در واحد کوارتز کنگلومرا دیده می شود.



شکل ۶. دیگرام های گل سرخی گسل ها و شکستگی ها به تفکیک ایستگاه، منظور از پسوند های -S و -N در ایستگاه SII ناحیه شمال و جنوب در این محدوده است.

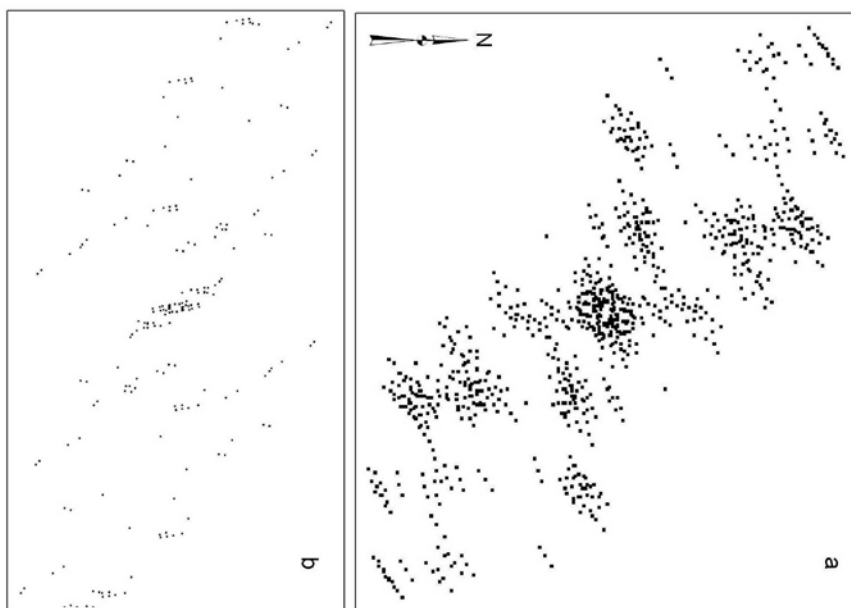
### ۲.۳.۲.۲ ایستگاه (SII)

در این محل گسل ها نرمال و شکستگی ها در سنگ های آهکی کرتاسه مطالعه شده اند. گسل های نرمال دارای مؤلفه امتدادی چپ رو نیز هستند (شکل ۶).

### ۳.۳.۲.۲. ایستگاه (SIII)

در این ایستگاه علاوه بر مطالعات درزه نگاری (شکل ۶)، نحوه توزیع چشمه های آب در منطقه، نیز مورد ارزیابی قرار گرفته است.

بر اساس بررسی نحوه توزیع چشمه ها نسبت به شاخه های گسلی، با اندازه گیری استرین به روش نقطه به نقطه، می توان دید که گسترش ترک های کششی در شمال شرق گسل فرعی منشعب، دارای روند  $55E$ - $60N$  و در جنوب غرب این گسل روند  $40W$  دارند. علاوه بر این با توجه به نحوه تغییر شکل ترک ها در این الگو، یک جنبایش راست رو نیز در گسل جدا کننده این روندها دیده می شود (شکل ۷).



شکل ۷. آنالیز Fry توزیع چشمه های گرو در دو سوی گسل هم آوا با سامانه گسل سنگ بست- شاندریز.

### ۳. نتیجه گیری

بر اساس داده های ژئوفیزیکی مغناطیس هوایی، در این منطقه شواهدی از نازک شدگی پوسته و استرس کششی وجود دارد. علاوه بر این اطلاعات لرزه ای نیز نشانگر وقوع زمین لرزه هایی با امتداد و سیستم منطبق شکستگی های ناحیه هستند. بنابراین با انجام مطالعات صحرایی بررسی های سنجش از دور مورد تایید و تصحیح قرار گرفت و مشخص شد که در این منطقه گسل های نرمال، درزه های کششی سیستماتیک، و چشمه های آب شور و تراورتن ساز (چشمه های گرو) وجود دارند که از سمت شرق به غرب توسعه یافته اند.

با توجه به الگوی بدست آمده از گسل ها و درزه ها نسبت به روند سامانه گسل سنگ بست- شاندریز می توان منطقه تخریب پایانه این گسل را، در سمت جنوب شرق، از نوع "دم اسبی (Horse tail)" معرفی کرد.

### منابع

بربریان. م، قرشی. م، شجاع طاهری. ج، طالبیان. م، (۱۳۸۷)، پژوهش و بررسی نوزمینساخت، لرزه زمین ساخت و خطر زمین لرزه گسلش در گستره مشهد- نیشابور، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

پایگاه ملی داده های علوم زمین، نقشه ژئوفیزیکی مغناطیس هوایی خراسان رضوی، [www.Ngdir.ir](http://www.Ngdir.ir) حافظی مقدس. ن، (۱۳۸۷)، ریز پهنه بندی لرزه ای شهر مشهد، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، مشهد.

شاه بیگ. الف، (۱۳۷۲)، زمین شناسی ایران: آبهای معدنی و گرم ایران، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، تهران.

طاهری، ج، قائمی، ف، (۱۳۷۲)، نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ مشهد، سازمان زمین شناسی کشور. قنادان. الف، الماسیان. م، قائمی. ف، نادری. ب، (۱۳۸۸)، تحلیل ساختاری ناحیه جنوب مشهد با نگرشی ویژه بر سیستم گسلی سنگ بست- شاندریز، فصلنامه زمین دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، بهار ۸۸، شماره ۱.

قنادان. الف، (۱۳۸۵)، تحلیل ساختاری ناحیه جنوب مشهد با نگرشی ویژه بر سیستم گسلی سنگ بست- شاندریز، پایان نامه کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی (تکتونیک)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.

Alavi, M., (1991). Sedimentary and structural characteristics of the Paleo- Tethys remnants in northeastern Iran. *Geological Society of America Bulletin*, Vol.103, 983-992.

Alavi, M., (1979). The Virani Ophiolite complex and surrounding rocks. *Geologisch Rundschau*, Vol.68, no.1, 334-341.

Alavi, M., (1992). Thrust tectonics of Binalud region, NE, Iran. *Tectonics*, Vol.11, no.2, 360-370.

Delvaux, D., Barth, A., (2010), African stress pattern from formal inversion of focal mechanism data, *Tectonophysics*. 482, 105-128.

Kim, Y.S., Andrews, J.R., Sanderson, D.J., (1998), Field excursion to study damage zones around strike-slip faults at Crackington Haven, North Cornwall. *Geoscience in south-west England* 9, 272-275.

Kim, Y.S., Peacock, D.C.P., Sanderson, D.J., (2004), Fault damage zones. *Journal of Structural Geology* 26. 503-517.

Kim, Y.S., Sanderson, D.J., (2006), Structural similarity and variety at the tips in a wide range of strike-slip faults: a review. *Terra Nova*, 18, 330-344.

Shabanian, E., Bellier, O., Abbassi, M.R., Siame. L., Farbod, Y., (2010a). Plio-Quaternary stress states in NE Iran: Kopeh Dagh and Allah Dagh-Binalud mountain ranges. *Tectonophysics*, 480, 280-304.

Shabanian, E., Bellier, O., Siame. L., Abbassi, M.R., Leanni, L., Braucher, R., Farbod, Y., Boursès, D.L., (2010b). Active tectonics of the Binalud Mountains, a key puzzle



segment to describe Quaternary deformations at the northeastern boundary of the Arabia-Eurasia collision. *Geophysical Research Abstracts* Vol. 12, EGU2010-6820-1.

Shabanian, E., Bellier, O., Siame, L., Arnaud, N., Abbassi, M.R., Cocheteau, J.J., (2009), New tectonic configuration in NE Iran: Active strike-slip faulting between the Kopet Dagh and Binalud mountains, *Tectonics*, Vol. 28, TC5002, doi:10.1029/2008TC002444.