



فصلنامه زمین ساخت

زمستان ۱۴۰۲، سال هفتم، شماره ۲۸

doi 10.22077/jt.2025.8245.1187

مقاله پژوهشی

تحلیل ساختاری چین خوردگی‌های منطقه القار در شمال خاور بیرجند (خاور ایران)

فاطمه فرامرزی القار^{۱*}، سیدمرتضی موسوی^۲، ابراهیم غلامی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد تکنیک، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۲- دانشیار گرایش تکنیک، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

۳- دانشیار گرایش تکنیک، گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

چکیده:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۲۶

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۷/۲۸

کمربند ساختاری خاور ایران یک کوهزاد درون قاره‌ای با روند تقریبی شمالی جنوبی است. قدیمی‌ترین سنگ‌ها در این بلوک مربوط به قبل از سنومانین می‌باشند شواهد چینه‌شناختی و سنگ‌شناختی نشانگر آغاز حرکات کششی بین قطعات قاره‌ای ایران و افغانستان در کرتاسه آغازین است. این نیروهای کششی موجب تشکیل حوضه‌های رسوبی خاور ایران و سبب ظهور افولیت‌ها در این ناحیه گردید. حوضه‌های رسوبی یاد شده در کرتاسه پایانی بسته شده و حوضه‌های پیش‌بوم در تمامی درازنای سنوزوئیک بر منطقه حاکم می‌شوند. منطقه مورد مطالعه واقع در بخش شمالی کمربند ساختاری خاور ایران و در بخش شمالی زون کسلی امتدادلغز راستگرد سامانه گسلی پُرنِگ-نوزاد است که بخش شمالی آن وارد منطقه شده و دارای مولفه معکوس است. تغییر مولفه حرکتی از امتدادلغز به معکوس در این بخش چین‌خوردگی‌هایی با امتداد NW-SE را در پایانه گسل به وجود آورده است. در ۸ ایستگاه، عناصر ساختاری چین و گسل اندازه‌گیری شدند که هماهنگی خوبی را از دیدگاه زمین‌ساختی باهم نشان می‌دهند. آزمون امتداد سطوح محوری چین‌خوردگی‌ها در بازه ۲۷۰ تا ۳۲۰ درجه است. پس از ترسیم محور π برای چین‌خوردگی‌ها، جهت تنش مسبب چین‌خوردگی‌ها دارای آزمون شمال شرق است. همچنین براساس سبک چین‌خوردگی‌ها براساس تقسیم‌بندی رمزی و هوپر (۱۹۶۷) در رده چین‌های Class 1A، Class 1B و Class 3 است. در ادامه مطالعات بر روی سطوح گسلی تغییرات روند محور تنش از آزمون ۶۰ درجه به ۱۷ درجه در بازه زمانی پالتوسن میوسن می‌باشد. چرخشی در بیضوی استرین طی بازه زمانی پالتوسن تا میوسن دیده می‌شود که نشان می‌دهد همزمان با چرخش میدان تنش، کل منطقه نیز به صورت پادساعتگرد چرخش نموده است که در مطالعات پیشین نیز به آن اشاره شده است.

کلیدواژه‌ها: شرق ایران، چین‌خوردگی، گسل، سنوزوئیک

*ایمیل: Fatemeh.faramarzealghar@birjand.ac.ir

Structural Analysis of Corrosion in Elghar Region in North East of Birjand, The eastern part of Iran

Fatemeh Faramarzi Al-Qar^{1*}, Seyed Morteza Mousavi², Ebrahim Gholami³

1- Master student of Tectonics, Department of Geology, Faculty of Science, University of Birjand, Birjand, Iran

2- Associate Professor of Tectonics, Department of Geology, Faculty of Science, University of Birjand, Birjand, Iran

3- Associate Professor Tectonics, Department of Geology, Faculty of Science, University of Birjand, Birjand, Iran

Abstract

The studied area is located in the northern part of the eastern structural belt of Iran and in the northern part of the Kasli zone, the dextral extension of the Porang-Nozad fault system, whose northern part enters the region and has a reverse component. Changing the movement component from sliding extension to reverse in this section It has created folds with NW-SE extension at the end of the fault. In 20 stations, the structural elements of folds, joints, faults, foliation, intersecting shear planes with foliation and veins were measured in Cenozoic units, which show a good harmony from the tectonic point of view. The azimuth along the axial surfaces of the folds is in the range of 270 to 320 degrees. It is enough to draw the π axis for the folds, the direction of the stress causing the folds has a north-east azimuth. Also, based on the style of folds, it is based on the classification of Ramzi and Huber (1967) in the category of Class 1B folds. According to the output table from the rose diagram of the seams, the extension of the seams has azimuths of 128, 270, 325, 50 and 238 degrees, and these seams are related to the folds of the region. The joints with 50 degrees are transverse joints, the joints with 238 degrees and 270 degrees are conjugate joints, and the joints with 128 and 325 degrees are longitudinal joints related to folding. Further studies on the fault surfaces show the changes along the stress axis from azimuth 60° to 197° in the Paleocene-Miocene time period, and these changes are also observed on the shear zones that displaced the foliations. The extension of the veins is also parallel to the maximum stress (azimuth 45) and parallel to the hinge of folds (azimuth 333). The trees also have a northwest-southeast extension, which are perpendicular to the axis of the maximum stress in the region. Also, a rotation is seen in the strain ellipse during the Paleocene to Miocene time period, which shows that the entire region has rotated counterclockwise at the same time as the stress field rotates.

Keywords: Cenozoic, Eastern Iran, folding, fault.

*Email: Fatemeh.faramarzealghar@birjand.ac.ir

Tel: +989158652532



مقدمه

منطقه اساس مطالعاتی این پژوهش می‌باشد.

زمین‌شناسی و زمین‌ساخت منطقه

کمربند ساختاری خاور ایران یک کوهزاد درون قاره‌ای با روند تقریبی شمالی جنوبی است. قدیمی‌ترین سنگ‌ها در این بلوک مربوط به قبل از سنومانین می‌باشند شواهد چینه‌شناختی و سنگ‌شناختی نشانگر آغاز حرکات کششی بین قطعات قاره‌ای ایران و افغانستان در کرتاسه آغازین است. این نیروهای کششی موجب تشکیل حوضه‌های رسوبی خاور ایران و سبب ظهور افولیت‌ها در این ناحیه گردید حوضه‌های رسوبی یاد شده در کرتاسه پایانی بسته شده و حوضه‌های پیش‌بوم در تمامی درازنای سنوزوئیک بر منطقه حاکم می‌شوند. در مورد چگونگی تکامل ساختاری در این منطقه نظرهای گوناگونی ابراز شده است و در تقسیم‌بندی‌های زمین‌شناختی با نام‌های مختلفی معرفی شده است؛ که از جمله آنها می‌توان به منطقه فلیش و آمیزه رنگین (Stocklin et al, ۱۹۷۱) زون نه‌بندان خاش نبوی (۱۳۵۵) پهنه زمین درز سیستان (Tirrul et al, ۱۹۸۳) زمین چاک سیستان بربریان (۱۹۸۳) کوه‌های شرق ایران (آقابات، ۱۳۸۳) و حوضه فلیشی شرق ایران (آقابات، ۱۳۸۳) اشاره نمود.

منطقه مورد مطالعه با موقعیت $54.43^{\circ}59'27''$ تا $23.30^{\circ}59'40''$ طول شرقی، $50.10^{\circ}32'47''$ تا $54.10^{\circ}32'56''$ عرض شمالی در ۳۰ کیلومتری شرق شهر بیرجند قرار دارد و در شمال غرب شهر سربیشه قرار گرفته است. منطقه مورد مطالعه از طریق جاده اصلی بیرجند - زاهدان و بیرجند - اسدیه دسترسی دارد (شکل ۱).

گستره‌ی مورد بررسی بخشی از پهنه ساختاری خاور ایران در مجاورت شمالی‌ترین بخش زیرپهنه سیستان و در استان خراسان جنوبی در نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ سربیشه و بیرجند قرار دارد که از نظر زمین‌شناسی به زیر پهنه سیستان تعلق دارد. پهنه گسلی پُرنگ با طول تقریبی ۶۰ کیلومتر از جمله گسله‌های راستگرد با مولفه معکوس در راستای یکی از سر شاخه‌های گسل نه خاوری قرار گرفته که در نقاط انتهایی شاخه‌های آن رسوبات کواترنری را بریده است. منطقه مورد مطالعه توسط این پهنه گسلی و گسل فعال

تحلیل عناصر ساختاری (چین، گسل و...) ابزاری دقیق و سودمند جهت شناخت دگرریختی و دستیابی به الگوی دگرشکلی در هر پهنه زمین‌شناسی محسوب می‌شوند. تا کنون مطالعات زیادی در شرق ایران صورت گرفته که در این بخش، قدیمی‌ترین آن در سال ۱۳۳۸ توسط شرکت ملی نفت ایران صورت گرفته که با تهیه نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ برای اولین بار وضعیت زمین‌شناسی این منطقه از کشور را معرفی نمود. (Freund et al, ۱۹۷۰) براین باورند که چرخش گسل‌های راستالغز در پهنه سیستان به میزان ۳۰ درجه چرخش در جهت خلاف عقربه‌های ساعت از جنوب به شمال رخ داده است. (Bayasgalan et al, ۱۹۹۹) در مطالعات ساختاری خود در شرق ایران، بر این باور است که در شمال پهنه برشی - شمالی - جنوبی و راستگرد سیستان، گسل‌های امتدادلغز شرقی - غربی، چرخش ساعتگرد حول محور عمودی داشته و راندگی‌های گپیو و نوزاد که در انتهای شرقی گسل‌های راستگرد زمین‌درز سیستان قرار گرفته‌اند و احتمالاً چرخش بر خلاف عقربه‌های ساعت داشته‌اند. نظری و همکاران در سال (۱۹۹۹) با تهیه نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ منطقه پهنه گسلی قلعه‌سرخ - نوزاد را معرفی کردند

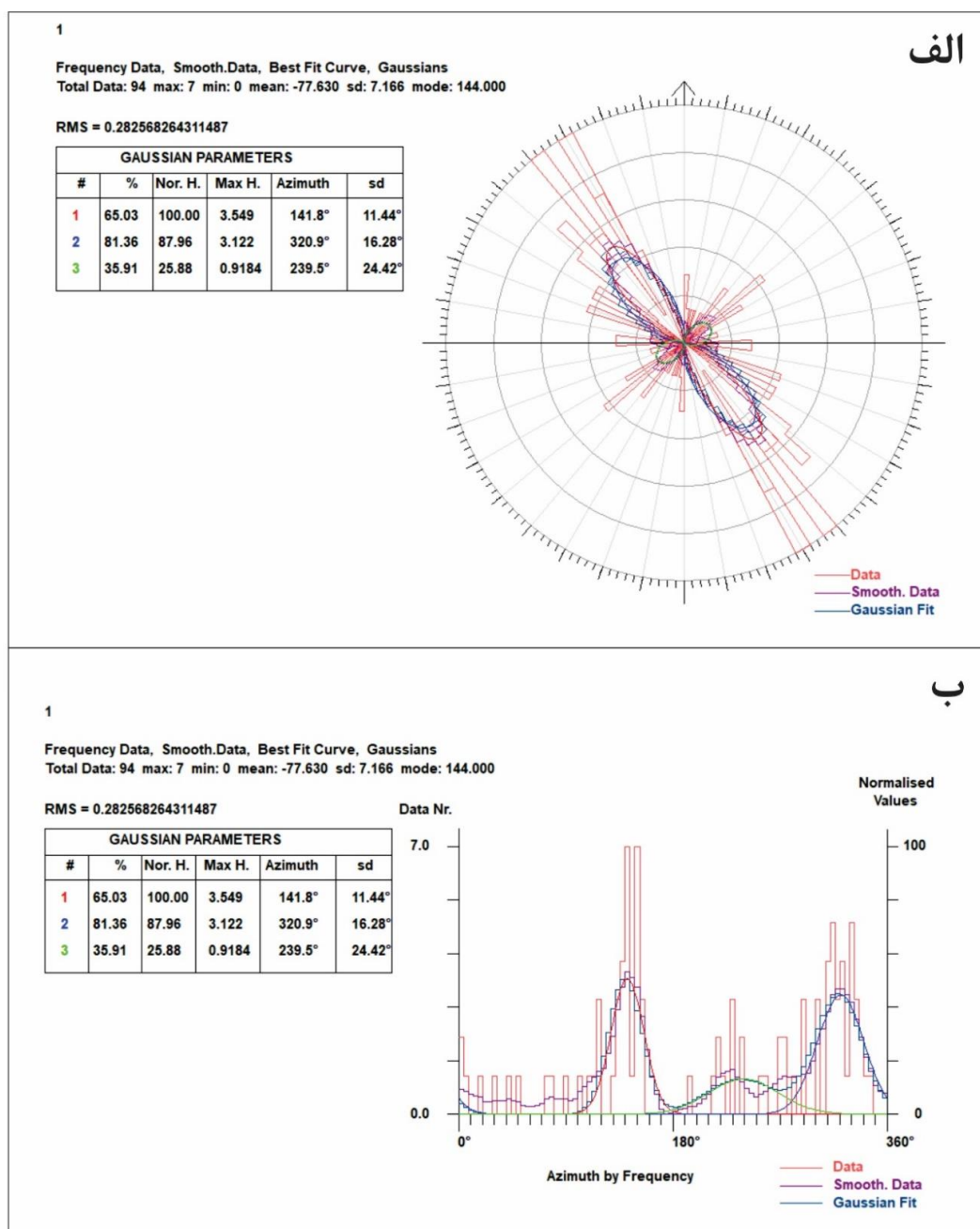
کمربند ساختاری خاور ایران شامل سلسله‌ای از گسله‌های راستالغز و نردبانی است. راستای سیستم گسلی نه‌بندان در مرز بین ایالت ساختاری سیستان و پهنه ی‌لوت با سازوکار غالب امتداد لغز راستگرد شمالی - جنوبی بوده که به مولفه راندگی در شاخه‌های افشان بخش‌های انتهایی گسله‌ی اصلی تبدیل شده و به صورت تداخلی وارد پهنه لوت می‌شود که می‌توان از گسله‌های پایانه امتداد لغز اریب بیرجند اریب سهل آباد و اریب قائن را نام برد.

منطقه مورد مطالعه واقع در بخش شمالی کمربند ساختاری خاور ایران و در بخش شمالی زون گسلی امتدادلغز راستگرد سامانه گسلی پُرنگ - نوزاد گرفته است که بخش شمالی آن وارد منطقه شده و دارای مولفه معکوس می‌باشد. تغییر مولفه‌ی حرکتی از امتداد لغز به معکوس در این بخش چین خوردگی‌هایی با امتداد NW-SE را در پایانه گسل به وجود آورده است که بررسی هندسه و جنبش چین خوردگی‌های این

[illegible]

و نشان‌دهنده امتداد تنش بیشینه مسبب چین خوردگی است (Ramsay, 1964; Mancktelow, 1981). محاسبه صفحه π چین‌ها توسط نرم‌افزار Daisy (Salvini, 1999) انجام شد. سطوح محوری چین خوردگی‌های منطقه دارای براساس رزدياگرام چین خوردگی‌های منطقه از آزمون ۳۲۰ تا ۳۳۰ درجه می‌باشد.

حرکت‌شناسی آنها به ترتیب در ادامه آمده است. ویژگی‌های هندسی چین خوردگی‌ها در صحرا شامل امتداد و شیب لایه‌بندی‌ها در صحرا اندازه‌گیری شد و سپس توسط نرم‌افزار Allmendinger, 11 Stereonet (2023) زاویه بین یال‌ها، محور چین، سطح محوری محاسبه گردید. صفحه π عمود بر محور چین می‌باشد



شکل ۳. الف) رزدياگرام امتدادی و ب) نمودار فراوانی امتدادی لایه‌بندی در منطقه مورد مطالعه

سطح محوری و محور چین اصلی در این ایستگاه به ترتیب دارای مختصات هندسی ۸۹/۱۱۵ و ۴۰/۸۲ می‌باشد. زاویه بین یالی در این ایستگاه ۴۸ درجه می‌باشد و در تقسیم‌بندی (Fleuty, 1964) در رده

ویژگی‌های هندسی و جنبشی

ایستگاه ۱: در این ایستگاه لایه‌بندی‌ها در امتداد NW-SE با شیب به سمت شمال شرق و جنوب غرب و امتداد N-S با شیب به سمت شرق و غرب می‌باشد (شکل ۴).



چین‌های بسته قرار می‌گیرد.

ایستگاه ۲: در این ایستگاه لایه‌بندی‌ها با امتداد E-W با شیب به سمت جنوب و امتداد N-S با شیب به سمت شرق می‌باشد (شکل ۴). سطح محوری و محور چین اصلی در این ایستگاه به ترتیب دارای مختصات هندسی ۲۶/۱۱۳ و ۲۰۳/۶۸ می‌باشد. زاویه بین یالی در این ایستگاه ۷۹ درجه می‌باشد. زاویه بین یالی در این ایستگاه باز می‌باشد و در تقسیم بندی (Fleuty, 1964) در رده چین‌های باز قرار می‌گیرد.

ایستگاه ۳: در این ایستگاه لایه‌بندی‌ها با امتداد E-W با شیب به سمت شمال و امتداد NW-SE با شیب نزدیک به ۸۰ تا ۹۰ درجه به سمت جنوب غرب می‌باشد (شکل ۴). سطح محوری و محور چین اصلی در این ایستگاه به ترتیب دارای مختصات هندسی ۶۶/۲۶۹ و ۳۱۸/۳۵ می‌باشد. زاویه بین یالی در این ایستگاه ۳۸ درجه می‌باشد و در تقسیم‌بندی (Fleuty, 1964) در رده چین‌های بسته قرار می‌گیرد.

ایستگاه ۴: در این ایستگاه لایه‌بندی‌ها با امتداد NE-SW با شیب به سمت شمال و امتداد NW-SE با شیب به سمت شمال شرق و جنوب غرب می‌باشد (شکل ۴). سطح محوری و محور چین اصلی در این ایستگاه به ترتیب دارای مختصات هندسی ۷۳/۳۲۳ و ۳۲۷/۱۲ می‌باشد. زاویه بین یالی در این ایستگاه ۵۸ درجه می‌باشد و در تقسیم‌بندی (Fleuty, 1964) در رده چین‌های بسته قرار می‌گیرد.

ایستگاه ۵: در این ایستگاه لایه‌بندی‌ها با امتداد E-W با شیب به سمت جنوب و امتداد NW-SE با شیب به سمت شمال شرق می‌باشد (شکل ۵). سطح محوری و محور چین اصلی در این ایستگاه به ترتیب دارای مختصات هندسی ۸۴/۲۹۸ و ۱۱۸/۶۲ می‌باشد. زاویه بین یالی در این ایستگاه ۹۳ درجه می‌باشد و در تقسیم‌بندی (Fleuty, 1964) در رده چین‌های باز قرار می‌گیرد.

ایستگاه ۶: در این ایستگاه لایه‌بندی‌ها با امتداد NW-SE با شیب به سمت شمال شرق و امتداد NE-SW با شیب به سمت جنوب شرق می‌باشد (شکل ۵). سطح محوری و محور چین اصلی در این ایستگاه به ترتیب دارای مختصات هندسی ۸۸/۰۸۵ و ۰۸۹/۴۵ می‌باشد. زاویه بین یالی در این ایستگاه ۱۰۴ درجه می‌باشد و در تقسیم‌بندی (Fleuty, 1964) در رده چین‌های باز قرار

می‌گیرد.

ایستگاه ۷: در این ایستگاه لایه‌بندی‌ها با امتداد NW-SE با شیب نزدیک به قائم و امتداد NE-SW با شیب به سمت شمال غرب می‌باشد (شکل ۵). سطح محوری و محور چین اصلی در این ایستگاه به ترتیب دارای مختصات هندسی ۶۲/۲۷۶ و ۳۲۴/۴۶ می‌باشد. زاویه بین یالی در این ایستگاه می‌باشد. زاویه بین یالی در این ایستگاه ۹۴ می‌باشد و در تقسیم‌بندی (Fleuty, 1964) در رده چین‌های باز قرار می‌گیرد.

ایستگاه ۸: در این ایستگاه لایه‌بندی‌ها با امتداد NW-SE با شیب به سمت جنوب غرب می‌باشد.

تحلیل حرکت شناسی

بر اساس مطالعات انجام شده و ترسیم محور π برای چین خوردگی‌ها، جهت تنش مسبب چین خوردگی‌ها دارای آزمون شمال شرق می‌باشد (شکل ۸). همچنین بر اساس سبک چین خوردگی‌ها بر اساس تقسیم‌بندی (Ramsay, 1967 & Huber) در رده چین‌های Class 1A، Class 1B و Class 3 می‌باشد.

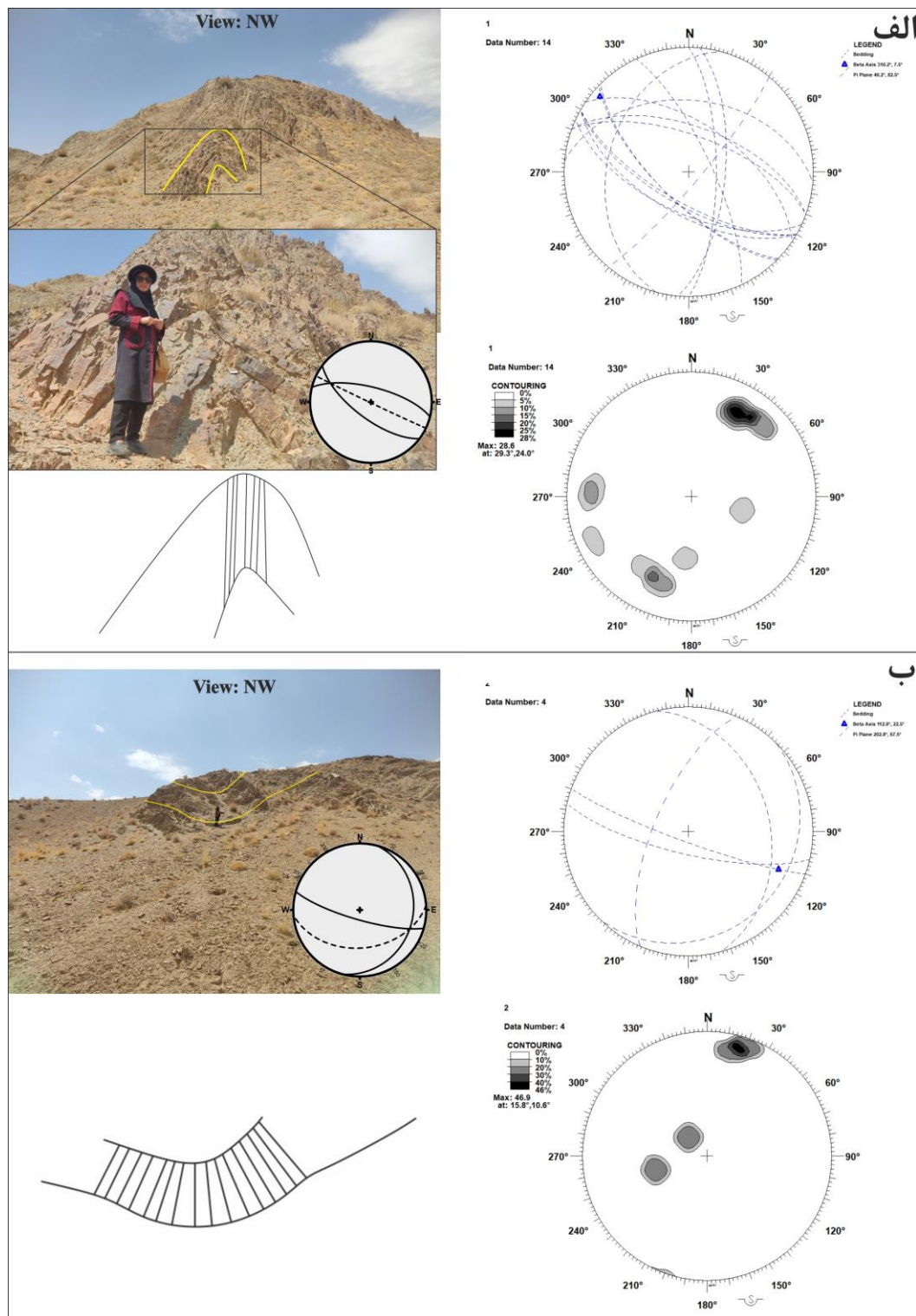
گسل‌های منطقه

رزدیالگرام فراوانی امتداد گسل‌های منطقه در شکل ۶ آمده است. جهت محاسبات تنش دیرین سن واحدها از نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سریشه (Nazari & Salamati, 1999) استخراج گردیده است. جهت تنش بیشینه نیز توسط نرم افزار Win tensor (Delvaux et al., 1995 & 1997) انجام گرفت.

ویژگی‌های هندسی و جنبشی

ایستگاه ۶: گسل‌های این ایستگاه دارای امتداد NW با شیب متوسط ۳۰ درجه به جنوب شرق و زاویه ریک ۵۰ درجه از سمت جنوب می‌باشد. حرکت این گسل‌ها چپگرد می‌باشد. فاکتور شکل میدان در این ایستگاه ۰/۵ می‌باشد (شکل ۷). این ایستگاه در واحدهای توریدایتی به سن پالتوسن-اوسن قرار دارد.

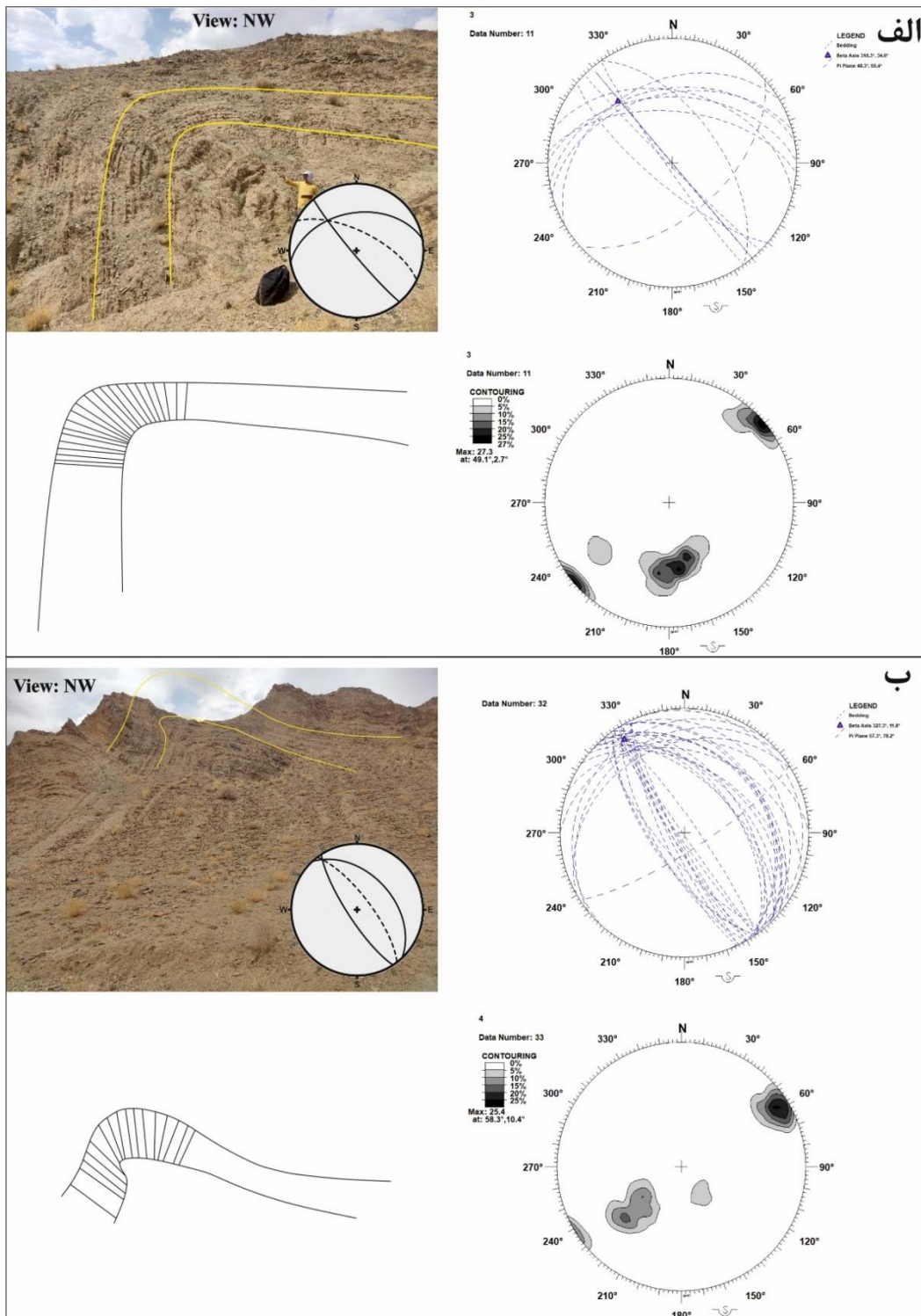
ایستگاه ۹: گسل‌های این ایستگاه دارای امتداد N با شیب ۷۰ درجه به سمت شمال غرب و جنوب شرق و ریک ۰ درجه می‌باشد. حرکت بر روی این گسل‌ها چپگرد می‌باشد. فاکتور شکل میدان در این ایستگاه ۰/۵۵



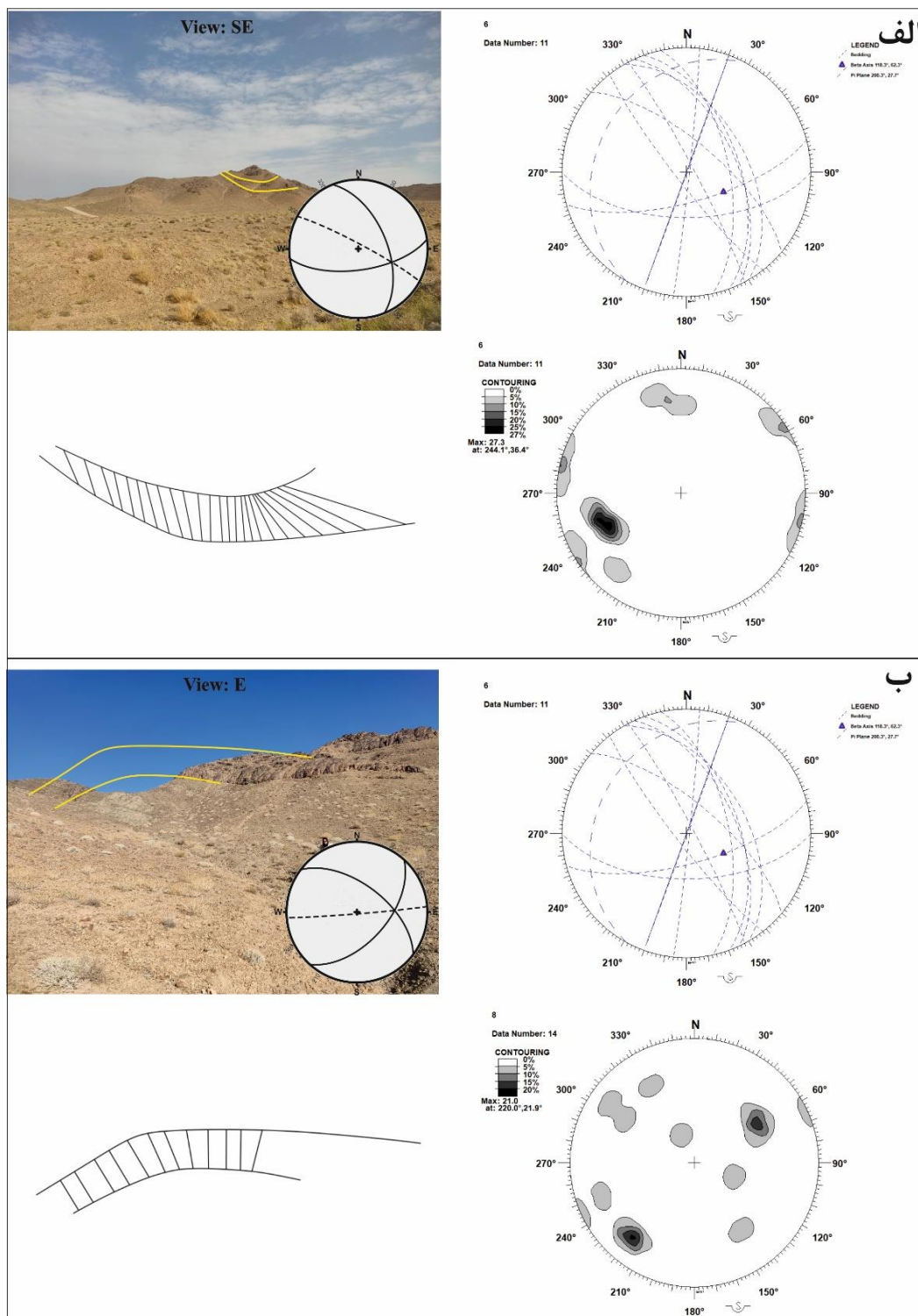
شکل ۴. الف) چین خوردگی ایستگاه ۱ به همراه تصویر استریوگرافیک، کنتوردیگرام و خطوط هم شیب لایه‌بندی
ب) چین خوردگی ایستگاه ۲ به همراه تصویر استریوگرافیک، کنتوردیگرام و خطوط هم شیب لایه‌بندی

امتداد WNW با شیب متوسط ۶۵ درجه به سمت جنوب و زاویه ریک ۳۰ درجه از سمت غرب با حرکت چپگرد می‌باشد. فاکتور شکل میدان در این ایستگاه ۰/۵ می‌باشد (شکل ۷). این ایستگاه در واحدهای توریدایتی به سن پائوسن-اوسن قرار دارد.

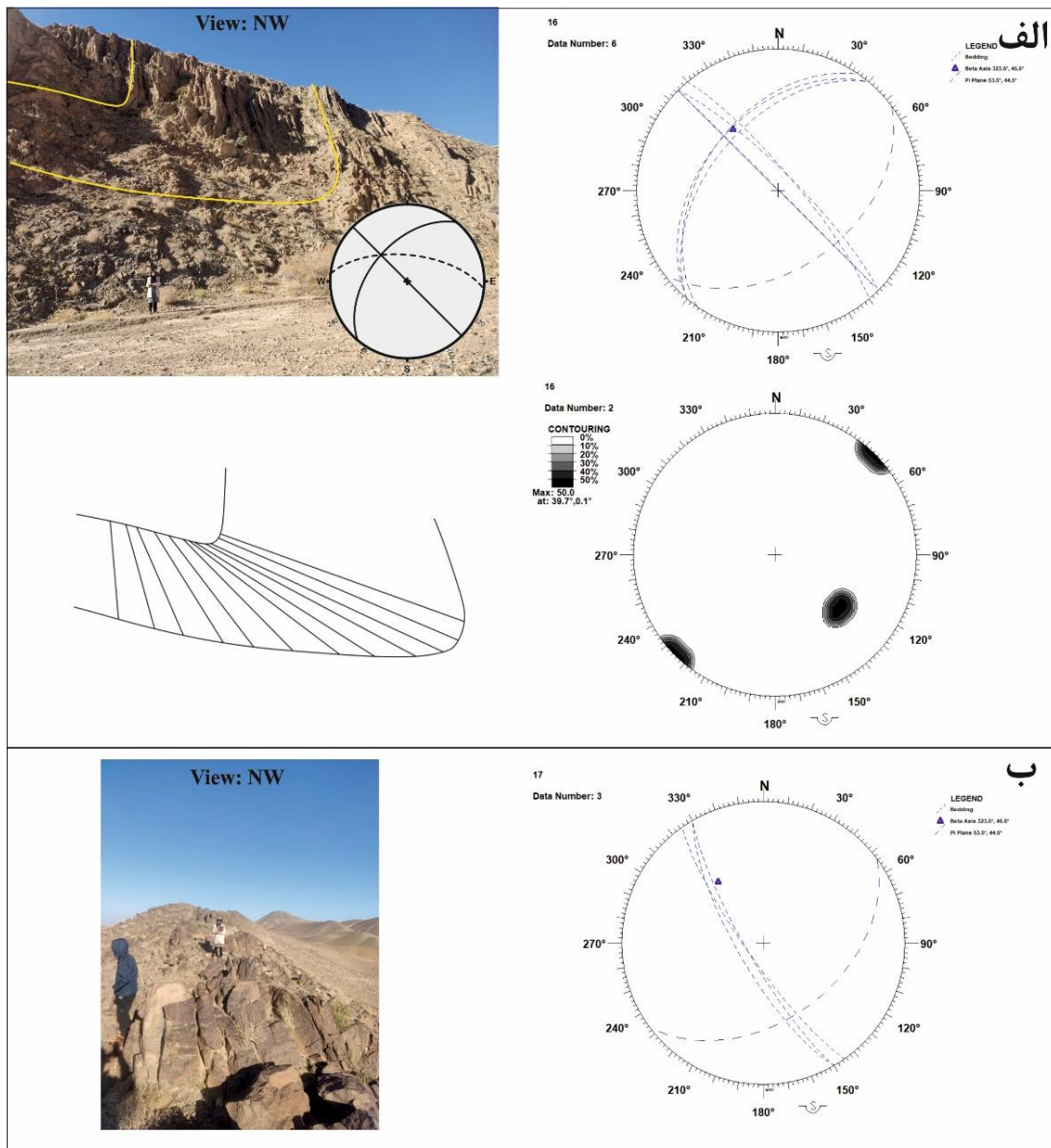
می‌باشد (شکل ۷). این ایستگاه در واحدهای داسیتی به سن الیگوسن-میوسن قرار دارد. ایستگاه ۱۰: گسل‌ها در این ایستگاه دارای امتداد NE با شیب متوسط ۸۰ درجه به سمت جنوب شرق و زاویه ریک ۰ درجه با حرکت راستگرد می‌باشد. گسل‌های با



شکل ۵. الف) چین خوردگی ایستگاه ۳ به همراه تصویر استریوگرافیک، کنتوردیگرام و خطوط هم شیب لایه بندی
ب) چین خوردگی ایستگاه ۴ به همراه تصویر استریوگرافیک، کنتوردیگرام و خطوط هم شیب لایه بندی



شکل ۶. الف) چین خوردگی ایستگاه ۵ به همراه تصویر استریوگرافیک، کنتوردیگرام و خطوط هم شیب لایه‌بندی
ب) چین خوردگی ایستگاه ۶ به همراه تصویر استریوگرافیک، کنتوردیگرام و خطوط هم شیب لایه‌بندی



شکل ۷. الف) چین خوردگی ایستگاه ۷ به همراه تصویر استریوگرافیک، کنتورداگرام و خطوط هم شیب لایه بندی
ب) چین خوردگی ایستگاه ۸ به همراه تصویر استریوگرافیک لایه بندی



جدول ۲. توصیف هندسی و رده‌بندی چین‌ها در منطقه مورد مطالعه

استگاه	رده بندی چین خوردگی	توصیف رده بندی	استگاه	رده بندی چین خوردگی	توصیف رده بندی
۱	نوع چین	ناودیس	۶	نوع چین	ناودیس
	هندسه چین	مقارن- مخروطی		هندسه چین	مقارن- استوانه ای
	تمایل چین	NE		تمایل چین	ندارد
	درجه فشردگی	Open		درجه فشردگی	Close
	رده بندی چین براساس خطوط هم شیب (Ramsay and Huber, 1967)	Class 1A-Class 3		رده بندی چین براساس خطوط هم شیب (Ramsay and Huber, 1967)	Class 3
	جهت یابی چین خوردگی (Fleuty, 1964; Ramsay, ۱۹۶۷)	Moderately plunging		جهت یابی چین خوردگی (Fleuty, 1964; Ramsay, ۱۹۶۷)	Plunging upright
۲	نوع چین	ناودیس	۷	نوع چین	ناودیس
	هندسه چین	مقارن- استوانه ای		هندسه چین	مقارن- استوانه ای
	تمایل چین	ندارد		تمایل چین	S
	درجه فشردگی	Open		درجه فشردگی	Open
	رده بندی چین براساس خطوط هم شیب	Class 1B		رده بندی چین براساس خطوط هم شیب	Class 1B
	جهت یابی چین خوردگی	Moderately plunging		جهت یابی چین خوردگی	Plunging inclined
۳	نوع چین	ناودیس	۸	نوع چین	ناودیس
	هندسه چین	مقارن- مخروطی		هندسه چین	مقارن- مخروطی
	تمایل چین	NNE		تمایل چین	NNE
	درجه فشردگی	Open		درجه فشردگی	Close
	رده بندی چین براساس خطوط هم شیب	Class 1A		رده بندی چین براساس خطوط هم شیب	Class 1A
	جهت یابی چین خوردگی	Plunging inclined		جهت یابی چین خوردگی	Plunging inclined
۴	نوع چین	ناودیس		نوع چین	ناودیس
	هندسه چین	مقارن- استوانه ای		هندسه چین	مقارن- استوانه ای
	تمایل چین	NE		تمایل چین	NE
	درجه فشردگی	Close		درجه فشردگی	Close
	رده بندی چین براساس خطوط هم شیب	Class 1B		رده بندی چین براساس خطوط هم شیب	Class 1B
	جهت یابی چین خوردگی	Plunging upright		جهت یابی چین خوردگی	Plunging upright

جدول ۳. مشخصات هندسی و جنبشی گسل های منطقه مورد مطالعه

Fault No.	Station	Stratigraphic Age	Lithology	Fault Plane		Slip line (Rake)	Sense	P		B		T		R	Regime Index
				Strike	Dip			Azim.	Incl.	Azim.	Incl.	Azim.	Incl.		
1	6	Paleocene-Eocene	Turbidite	65	35	45S	IS	9	65	40	328	49	166	0.5	TS
2				60	30	45S	IS	5	60	37	326	52	156	0.5	TS
3				70	35	50S	IS	15	63	37	321	49	172	0.5	TS
4				70	40	55S	IS	17	65	33	324	52	179	0.5	TS
5	9	Oligocene-Miocene	Dacite	355	40	0	D	33	208	40	85	33	322	0.43	XF
6				140	70	0	D	14	3	70	230	14	97	0.43	SS
7				145	70	0	D	14	8	70	235	14	102	0.43	SS
8				355	50	0	D	27	212	50	85	27	318	0.43	TS
9				350	50	0	D	27	207	50	80	27	313	0.43	TS
10				340	50	0	D	27	197	50	70	27	303	0.43	TS
11				345	45	0	D	30	200	45	75	30	310	0.43	TS
12				150	75	0	D	11	14	75	240	11	106	0.43	SS
13	10	Paleocene-Eocene	Turbidite	140	80	0	D	7	5	80	230	7	95	0.43	SS
14				95	65	30N	IS	1	223	52	131	38	314	0.5	TS
15				90	60	30N	IS	2	38	48	131	41	306	0.5	TS
16				100	68	30N	IS	4	228	53	133	37	321	0.5	TS
17				35	85	0	D	4	260	85	114	3	350	0.5	SS
18				40	75	0	D	11	264	75	126	10	356	0.5	SS
19				35	78	0	D	9	259	78	120	8	351	0.5	SS

تحلیل حرکت شناسی

براساس تصاویر استریوگرافیک ترسیم شده، تغییرات جهت تنش از آزمون ۶۳ درجه به ۱۹۷ درجه دیده می شود که آزمون ۶۳ درجه قدیمی تر می باشد. این تغییرات جهت تنش بر روی چین خوردگی ها نیز دیده می شود (شکل ۸).

بحث

در ۲۰ ایستگاه عناصر ساختاری چین ها و گسل ها در واحدهای سنوزوئیک اندازه گیری شدند که هماهنگی خوبی را از دیدگاه زمین ساختی باهم نشان می دهند. آزمون امتداد سطوح محوری چین خوردگی ها در بازه N270 تا N320 درجه می باشد. براساس جدول خروجی از رزداگرام گسل ها، امتداد گسل ها دارای آزمون های N107، N55، N35 و N141 درجه می باشند. در ادامه مطالعات بر روی سطوح گسلی تغییرات امتداد محور تنش از آزمون ۰۶۰ درجه به

۰۱۷ درجه در بازه زمانی پالئوسن تا میوسن را نمایش

می دهد (شکل ۱۰).

تغییر میدان تنش به صورت محلی از راستگرد به چپگرد در این ناحیه دیده می شود که می تواند در اثر پاسخ متقابل حرکت رو به شمال بلوک لوت و برخورد با گسل درونه، در پاسخ به حرکت گسل های موازی شرق ایران و حرکت به سمت شرق بلوک های شرق ایران که گس های شمالی- جنوبی آن دارای حرکت امتداد لغز با مولفه راستگرد می باشند، ایجاد شده باشد که در مطالعات (Walker and Khatib, 2006) به آن اشاره شده است (شکل ۱۲).



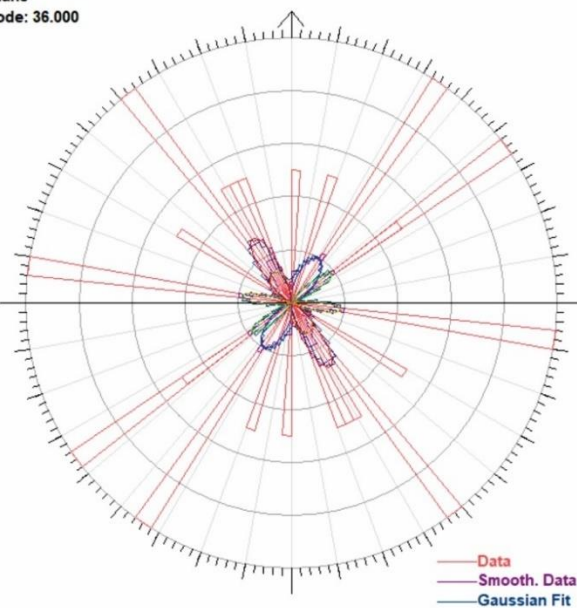
1

الف

Frequency Data, Smooth.Data, Best Fit Curve, Gaussians
Total Data: 16 max: 2 min: 0 mean: 60.899 sd: 6.751 mode: 36.000

RMS = 3.26891222833726E-02

GAUSSIAN PARAMETERS					
#	%	Nor. H.	Max H.	Azimuth	sd
1	51.53	100.00	0.5616	148.9°	9.75°
2	56.45	69.62	0.3910	32.19°	15.35°
3	25.79	66.66	0.3744	234.0°	7.32°
4	25.08	67.36	0.3783	98.04°	7.05°
5	45.19	46.48	0.2611	328.5°	18.4°



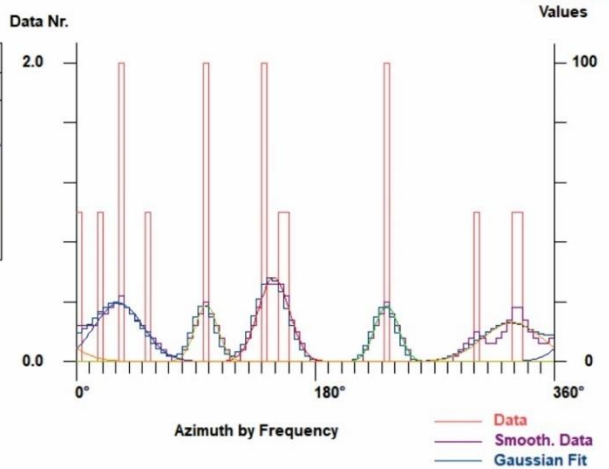
1

ب

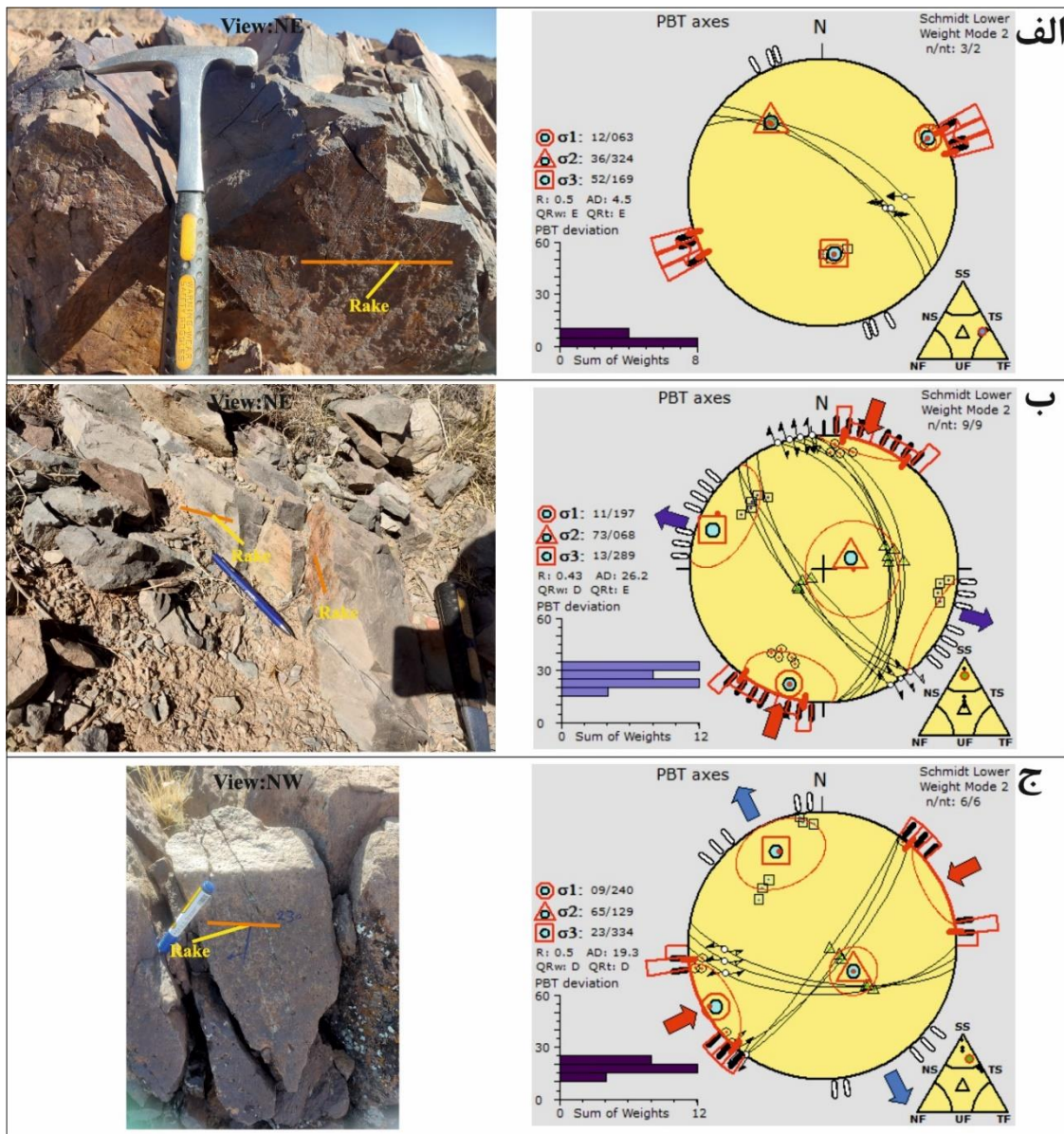
Frequency Data, Smooth.Data, Best Fit Curve, Gaussians
Total Data: 16 max: 2 min: 0 mean: 60.899 sd: 6.751 mode: 36.000

RMS = 3.26891222833726E-02

GAUSSIAN PARAMETERS					
#	%	Nor. H.	Max H.	Azimuth	sd
1	51.53	100.00	0.5616	148.9°	9.75°
2	56.45	69.62	0.3910	32.19°	15.35°
3	25.79	66.66	0.3744	234.0°	7.32°
4	25.08	67.36	0.3783	98.04°	7.05°
5	45.19	46.48	0.2611	328.5°	18.4°

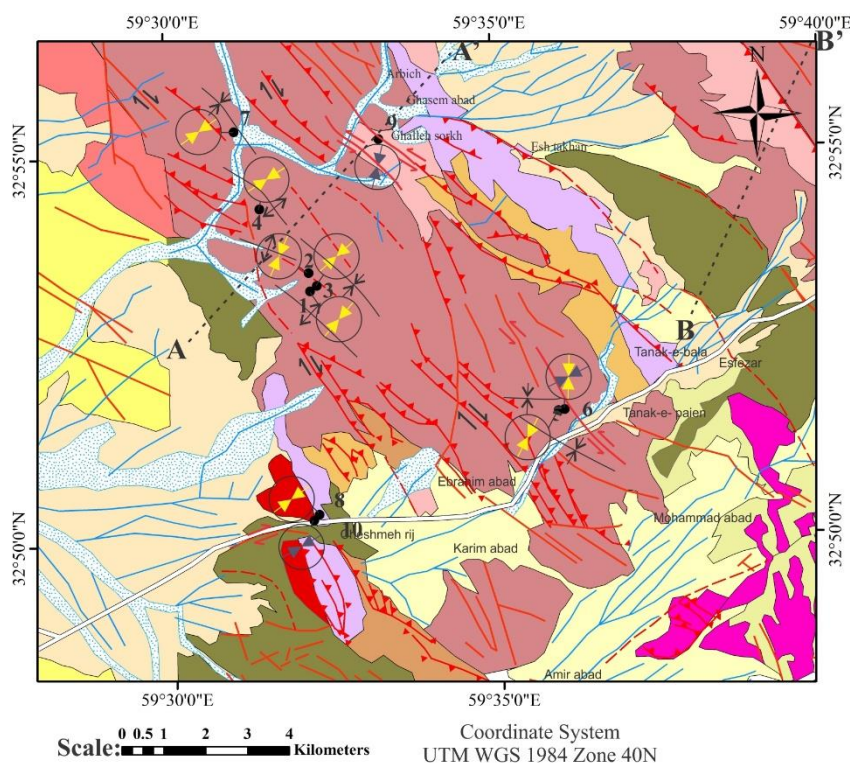


شکل ۸. الف) رزدياگرام امتدادی و ب) نمودار فراوانی امتدادی گسل‌ها در منطقه مورد مطالعه

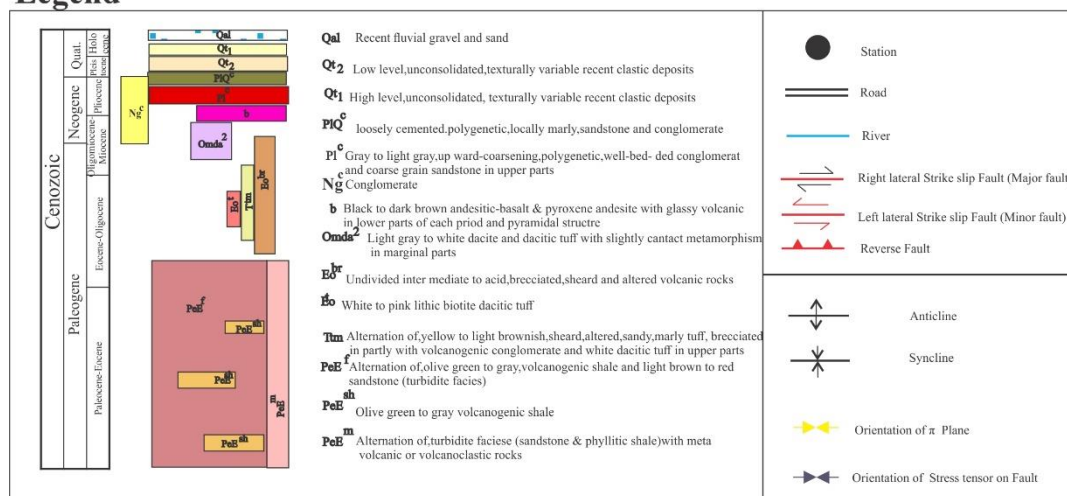


شکل ۹. تصاویر گسل ها به همراه تصویر استریوگرافیک جهت تنش های اصلی در الف) ایستگاه ۶ ب) ایستگاه ۹

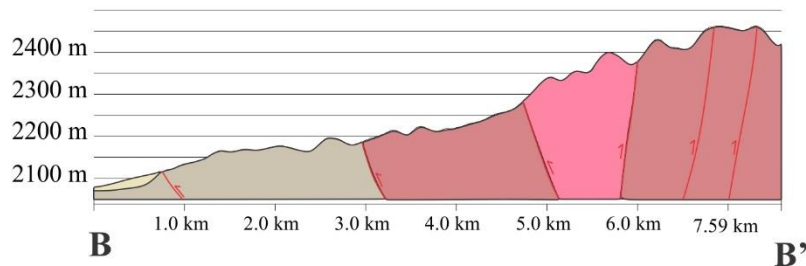
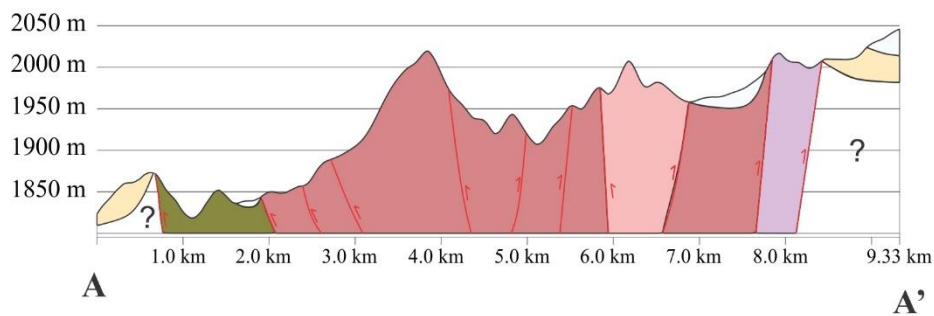
ج) ایستگاه ۱۰



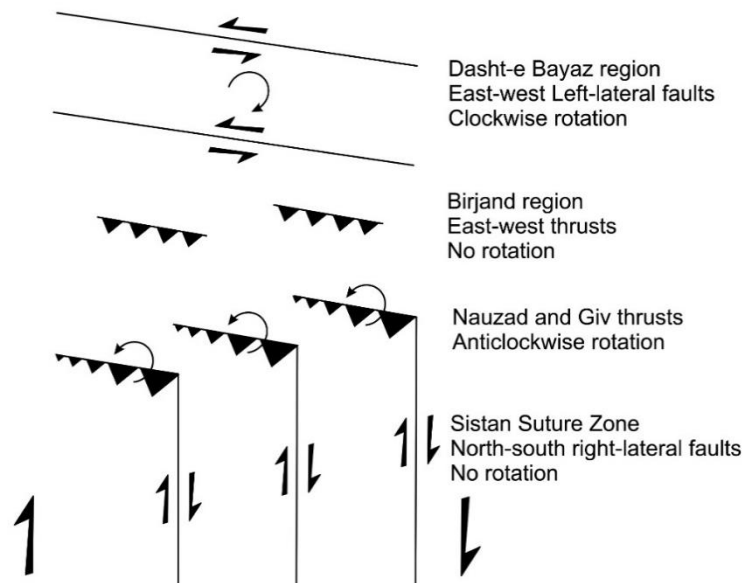
Legend



شکل ۱۰. نقشه زمین‌شناسی بازترسیم شده از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ سربیشه (نظری و سلامتی، ۱۹۹۰) و بیرجند (اوهانیان، طاووسیان، ۱۹۷۸) و جهات تنش در منطقه مورد مطالعه براساس صفحه π چین خوردگی‌ها و تحلیل سازوکار گسل‌ها



شکل ۱۱. مقطع زمین شناسی از شکل ۱۰ در دو امتداد AA' و BB'



شکل ۱۲. تغییرات مولفه حرکتی از ساعتگرد (گسل های شمالی-جنوبی) به پادساعتگرد (گسل های شرقی-غربی) در گسل های شرق ایران. (Walker and Katib, 2006)

نتیجه گیری

مربوط به بازه زمانی پالئوسن-ائوسن و آزیموت ۱۷ درجه مربوط به بازه زمانی الیگوسن-میوسن می باشد.

- چرخشی در بیضوی استرین طی بازه زمانی پالئوسن تا میوسن دیده می شود که نشان می دهد همزمان با چرخش میدان تنش، کل منطقه نیز به صورت

پس از انجام مطالعات کتابخانه ای، صحرایی و پردازش داده ها، نتایج زیر حاصل شد:

- پس از انجام مطالعات صحرایی و تحلیل ساختارهای موجود در این منطقه دو جهت تنش با آزیموت های ۶۳ و ۱۷ درجه بدست آمد که آزیموت ۶۳ درجه

خطیب م.م.، ۱۳۷۷. هندسه پایانه گسل‌های امتدادلغز بانگاهی ویژه به گسل‌های خاور ایران. رساله دکتری. گروه زمین‌شناسی دانشگاه شهید بهشتی.

شرکت ملی نفت ایران. ۱۳۳۸. نقشه زمین‌شناسی ۱:۲۵۰۰۰۰ بیرجند.

نبوی، ح. ۱۳۵۵، دیباچه‌ای بر زمین‌شناسی ایران. انتشارات سازمان زمین‌شناسی ایران. ۱۰۹ صفحه.

Allmendinger Richard W. (2023). Availableonline: <https://www.rickallmendinger.net/Dept. of Earth & Atmospheric Sciences 3128 Snee Hall Cornell University Ithaca, NY 14853-1504 USA>.

Bayasgalan, A., Jackson, J., Ritz, J.F. and Carretier, S., 1999. Field examples of strike-slip fault terminations in Mongolia and their tectonic significance. *Tectonics*, 18(3), pp.394-411.

Bayasgalan, A., J. Jackson, J.-F. Ritz, and S. Carretier (1999b), 'Forebergs', flower structures, and the development of large intracontinental strike-slip faults: The Gurvan Bogd fault system in Mongolia, *J. Struct. Geol.*, 21, 1285 – 1302.

Berberian, M. & King, G. C. P., 1981, "Towards paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Can. Jour. Earth Sci.*, V. 18, No.2, P210-265.

Delvaux, D., Moeys, R., Stapel, G., Melnikov, A., & Ermikov, V. (1995). Palaeostress reconstructions and geodynamics of the Baikal region, Central Asia, Part I. *Palaeozoic and Mesozoic pre-rift evolution Tectonophysics* 252(1-4), 61-101.

Fleuty, M.J., 1964. The description of folds. *Proceedings of the Geologists' Association*, 75(4), pp.461-492.

پادساعتگرد چرخش نموده است.

- تغییر میدان تنش به صورت محلی از راستگرد به چپگرد در این ناحیه دیده می‌شود که می‌تواند در اثر پاسخ متقابل حرکت رو به شمال بلوک لوت و برخورد با گسل درونه ایجاد شده باشد یا در پاسخ به حرکت گسل‌های موازی شرق ایران که دارای حرکت امتدادلغز با مولفه راستگرد می‌باشند، ایجاد شده باشد.
- انتهایی‌ترین بخش گسل‌های راستگرد می‌توانند دارای مولفه حرکتی متفاوت و غیرهمسو با حرکت گسل اصلی باشند که به خاطر ادامه یافتن آخرین رژیم تنش امتدادلغز توام با فشارش ایجاد می‌شود.
- در فرایند دگرشکلی پیشرونده‌ی شکل‌پذیر - شکننده گسل‌ها و چین‌ها عمدتاً در راستای عمود بر جهت تنش اصلی تشکیل شده‌اند.

منابع

آقاباتی، ع.، ۱۳۸۳، زمین‌شناسی، ایران وزارت صنایع و معادن سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور، ۶۰۶ صفحه.

اشتوکلین، ی.، انتظام، ع.، مترجم. افتخارنژاد، ج.، مترجم.، ۱۳۵۲، بررسی مقدماتی زمین‌شناسی در لوت مرکزی شرق ایران سازمان زمین‌شناسی کشور. ۳۰۷ صفحه.

اوهانیان، ت.، طاووسی، ش. ۱۹۷۸. نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بیرجند سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

برزگر، ف.، ۱۳۵۷، تفسیر شکستگی‌های پوسته در ایران به کمک تصاویر ماهواره ای پایان‌نامه تحصیلی کارشناسی ارشد گروه زمین‌شناسی دانشگاه تهران.

جوانمرد، ف. خطیب، م.م. احمدی زاده، س. ۱۳۸۷. تحلیل خطر زمین‌لرزه گسلش فعال و برهم کنش گسل نوزاد و گسل پرنگ در شرق بیرجند با استفاده از GIS. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه بیرجند. دانشکده علوم. گروه زمین‌شناسی.

- Freund, R., 1970, Rotation of strike slip faults in sistian, southeast Iran: Journal of structural geology. V. 78, P. 188- 200.
- Mancktelow, N. S. (1981). A least-squares method for determining the best-fit point maximum, great circle, and small circle to nondirectional orientation data. Journal of the International Association for Mathematical Geology, 13, 507-521.
- Nazari, H., Salamat, 1999, Geological map 1:100000 Sarbisheh, Geological and Mineral Exploration Organization of the country.
- Ramsay, J. G. (1964). The uses and limitations of beta-diagrams and pi-diagrams in the geometrical analysis of folds. Quarterly Journal of the Geological Society, 120(1-4), 435-452.
- Ramsay J.G., Huber M.I. 1987 .The Techniques of modern structural geology.Academic Press Limited, Vol. 2 (fold and fracture), 391p.
- Salvini, F., Billi, A., & Wise, D. U. (1999). Strike-slip fault-propagation cleavage in carbonate rocks: the Mattinata Fault Zone, Southern Apennines, Italy. Journal of Structural Geology, 21(12), 1731-1749.
- Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review. AAPG bulletin, 52(7), pp.1229-1258.
- Tirrul, R., Bell, I.R., Griffis, R.J., and Camp, V.E., 1983, The Sistan suture zone of eastern Iran, Geological Society America Bulletin, V.94, p. 134-150.
- Walker, R.T. and Khatib, M.M., 2006. Active faulting in the Birjand region of NE Iran. Tectonics, 25(4).