



فصلنامه زمین ساخت

پائیز ۱۴۰۰، سال پنجم، شماره ۱۹

doi 10.22077/JT.2022.5176.1135

بررسی تغییر جهت محورهای تنش دیرین در گستره جنوب سلفچگان از نئوژن: کاربرد آن در زمین ساخت ناحیه‌ای

مصطفی نجفی^{۱*}، سید احمد علوی^۲، محسن احتشامی معین آبادی^۳

۱. کارشناسی ارشد، گروه حوضه های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۲. استاد، گروه حوضه های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

۳. استادیار، گروه حوضه های رسوبی و نفت، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی، تهران، ایران.

چکیده:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۲

در گستره مورد مطالعه که در جنوب سلفچگان واقع شده، مجموعه‌ای از دایک‌های حدواسط تا اسیدی وجود دارند که در دو مرحله فورانی در واحدهای برش آندزیتی خاکستری و لاپیلی توف تیره به سن میوسن نفوذ کرده‌اند و در نتیجه سن دایک‌ها اواخر میوسن به بعد بوده است. در این مطالعه تغییرات وضعیت محورهای تنش دیرین در این گستره با استفاده از تحلیل داده‌های خش لغز و آینه‌های گسلی و همچنین تراژکتوری‌های تنش دیرین مبتنی بر روند دایک‌ها از میوسن به بعد مورد بررسی قرار گرفته است. با استفاده از موقعیت دایک‌های موجود در گستره و تحلیل داده‌های تنش دیرین به روش برگردان تنش دیرین مشخص شد، تغییرات روند محورهای اصلی تنش از نئوژن یا پلیو-کواترنری رخ داده است، به گونه‌ای که راستای تنش بیشینه از راستای شمالی-جنوبی در انتهای میوسن به شمال خاوری-جنوب باختری طی پلیوسن-کواترنری تغییر کرده است. این تغییر روند می-تواند ناشی از چرخش ساعتگرد پوسته اقیانوسی خزر جنوبی باشد که تاثیر آن فقط محدود به البرز نبوده و در ایران مرکزی نیز موثر بوده است. این تاثیر اخیراً در مطالعات دیگر در پهنه سامانه گسلی کوشک نصرت اشاره شده است.

واژه‌های کلیدی: ارومیه-دختر، تنش دیرین، روش برگشتی، خش لغز، تراژکتوری دایک.

* ایمیل: Mostafanajafi83@gmail.com

تلفن تماس: ۰۹۳۷۲۱۹۶۱۵۱



Investigating the change of direction of long-term stress main axis in southern part of Salafchegan from Neogene: its implication in regional tectonics

Mostafa Najafi¹, Seyed Ahmad Alavi², Mohsen Ehteshami Moien Abadi³

1- M.Sc, Department of Sedimentary and Oil basins, Earth Science Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

2- Professor, Department of Sedimentary and Oil basins, Earth Science Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

3- Assistant Professor, Department of Sedimentary and Oil basins, Earth Science Faculty, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran

Abstract:

In the study area, which is located in the south of Salafchegan, there is a series of intermediate to acidic dykes that have penetrated in two stages of eruption in the Lapilli tuff units and the dark gray andesitic section. according to the age of the host rocks, the injection time of these dykes was late Miocene onwards. In this study, changes in the position of long-term stress axes in this area have been investigated using analysis of slickenline data and slickenside as well as long-term stress trajectories based on dykes' trend from Miocene onwards. By using the position of the dykes in the area and analyzing the long-term stress data with inversion method, changes in the trend of the main stress axes from Neogene or Plio-Quaternary have indicated, so that the maximum stress direction from north-south direction at the end of Miocene to north east-southwest changed during the Pliocene-Quaternary. This change in trend could be due to the clockwise rotation of the South Caspian block, the impact of which was not limited to Alborz and was also effective in Central Iran. This effect has recently been reported in other studies in the area of the Kushk fault system.

Keywords: Urumieh-Dokhtar, long-term stress, Inversion Method, Slickenline, dyke trajectory

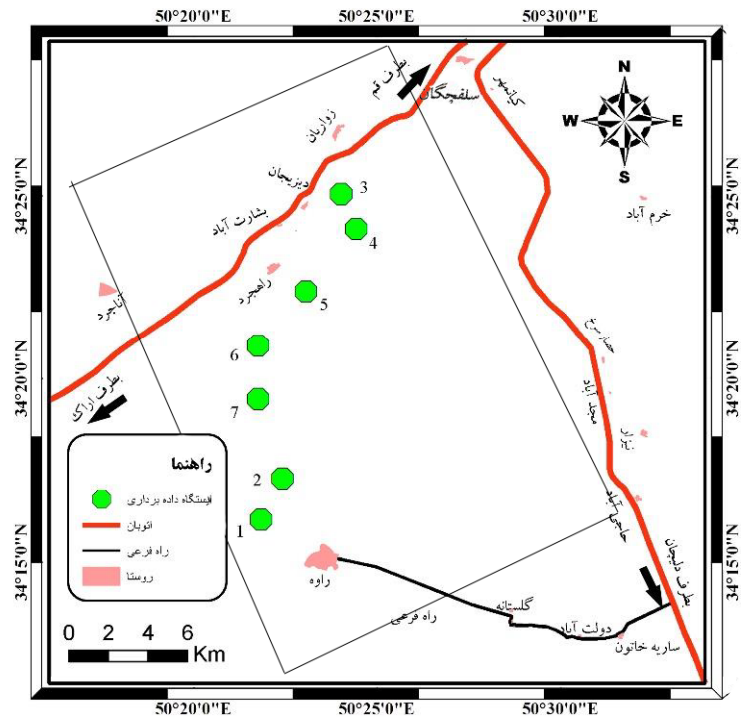
پیش‌نوشتار

از جمله مباحث مهم در زمین‌شناسی ساختاری بررسی دگرشکلی و حالت تنش به منظور درک فرایندهای زمین‌ساختی می‌باشد. این گونه مطالعات در مناطق با رخنمون سنگ‌های آذرین، به نسبت مناطق دارای رخنمون سنگ‌های رسوبی چالش برانگیزتر و دشوارتر اند. بازسازی تنش‌دیرین در اصل تجزیه و تحلیل ساختارهای روی زمین بوده و این روش تفسیر شرایط تنش در گذشته را برای ما ممکن می‌سازد که اطلاعات حاصل از آن در پی بردن به فرآیندهایی که منجر به ایجاد ساختارها شده‌اند تا حد زیادی کمک می‌کند و همچنین در درک مهاجرت سیالات، از جمله هیدروکربن‌ها و آب‌های هیدروترمال و غیره موثر می‌باشد (Bergerat et al., 2013). محدوده‌ای در جنوب استان قم با رخنمون واحدهای آذرین و بیشتر آتشفشانی با سن سنوزوئیک قرار دارد که توسط نهشته‌های جوان‌تر از اطراف پوشیده شده است. از نظر سنگ‌شناسی، بخش شمالی گستره غالباً از واحدهای آذرآواری ائوسن-الیگوسن و سنگ‌های رسوبی تشکیل شده است که دایک‌های فراوانی در سنگ‌های آذرآواری ائوسن-الیگوسن نفوذ کرده‌اند. در برخی مناطق با روندهای متفاوت دایک‌هایی در توده‌ها نفوذ کرده‌اند که در تصاویر ماهواره‌ای برجسته هستند. از آنجا که بررسی تنش‌دیرین برای مشخص کردن تکامل ساختاری کمرندهای چین‌خورده به ویژه مناطق دارای تکتونیک شکننده بسیار سودمند هستند (Change et al., 2003)، در این پژوهش به بررسی شرایط تنش‌دیرین در گستره مطالعه با استفاده از تجزیه و تحلیل ساختارهای گستره (دایک‌ها و گسل‌ها) پرداخته می‌شود و نتایج آن در زمین‌ساخت ناحیه ای بحث می‌شود.

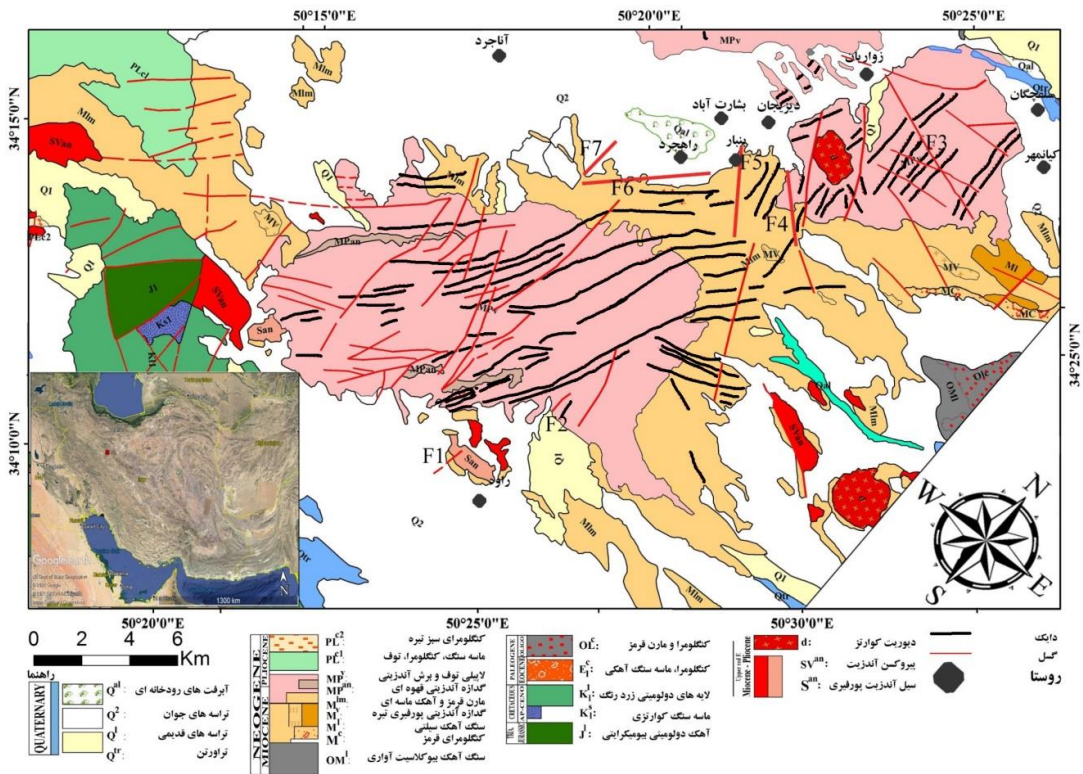
زمین‌شناسی محدوده

گستره مورد مطالعه در جنوب سلفچگان و در استان مرکزی واقع است (شکل ۱). از دیدگاه زمین‌شناسی ساختاری این گستره در پهنه ایران مرکزی جای دارد و بخشی از نوار ماگمایی ارومیه-دختر محسوب می‌شود (شکل ۲). خرده‌قاره ایران مرکزی به عنوان بخشی از پهنه برخوردی عربی-اوراسیایی که حاصل همگرایی چندین بلوک پی‌سنگی است (Berberian and King, 1981)، بین دو رشته کوه البرز و زاگرس محصور شده است. در دوره‌ی پرمین-تریاس بلوک‌های پی‌سنگی سنندج-سیرجان و ایران مرکزی به دلیل کافت نئوتتیس و فرورانش روبه‌شمال پالتوتتیس از

گندوانا جدا شدند (Berberian and King, 1981). برخورد تریاس پسین بین بلوک توران با ایران مرکزی منجر به شروع فرورانش نئوتتیس به سمت شمال شد (Alavi, 1992). برخورد اولیه ورقه‌های عربی و اوراسیا از اوایل اولیگوسن آغاز شد و در میوسن میانی تسریع شد (Allen et al., 2004). از ائوسن پسین-اولیگوسن پیشین برخورد ورقه‌های بین ورقه‌هایی عربی و اوراسیایی یک سیستم کوهزایی را تشکیل داده است که از منطقه‌ی زمیندرز زاگرس تا اپشرون - بلخان است (Madanipour et al., 2013). پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که علی‌رغم اتمام فرورانش فعال بین ورقه‌های ایران-عربستان، فعالیت ماگمایی متوقف نشده است (Berberian & King, 1981; Ghasemi & Talbot, 2006). بر اساس بررسی‌های صورت گرفته توسط تکین (Takin, 1972) بیشتر سنگ‌های آتشفشانی ایران مربوط به زمان توقف و یا به حداقل رسیدن گسترش بستر اقیانوس هند است. بررسی‌های قاسمی و تالبوت (Ghasemi & Talbot, 2006) نشان می‌دهد که فعالیت ماگمایی بعد از برخورد در مجموعه ماگمایی ارومیه-دختر همراه با فعالیت پلوتونیک و بالا آمدگی پهنه سنندج-سیرجان، نشأت گرفته از شکستگی قطعه فرورونده می‌باشد و این امر باعث بروز اوج فعالیت ماگمایی در امتداد مجموعه ماگمایی ارومیه-دختر در ائوسن میانی شده است (Berberian and King, 1981). فوران‌های اولیه ائوسن ایران مرکزی از نوع کلسیمی-قلیایی و زیردریایی بوده و پس از آن سنگ‌های آتشفشانی در اندازه‌های متنوع که دارای ترکیب کلسیمی-قلیایی بوده‌اند به طور متناوب، خارج شده‌اند (علایی مهابادی و همکاران، ۱۳۷۹). در ائوسن پسین ترکیب گدازه‌ها به طرف قلیایی (پتاسیمی و یا سدیمی) و به شدت قلیایی گرایش پیدا کرده‌اند (آقا‌ناتی، ۱۳۸۳). مجموعه ماگمایی ارومیه-دختر از مجموعه‌ای از سنگ‌های آذرین بیرونی و درونی تشکیل شده که روند آن موازی کمر بند کوهزایی است و کمان ماگمایی وابسته به فرورانش را در حاشیه فعال ورقه قاره ای ایران تشکیل می‌دهد (Ala-vi, 2004). این مجموعه از بخش‌های سنگ‌شناسی متنوعی تشکیل شده که از جمله آن‌ها می‌توان به توده‌های گابرو-دیوریت، گرانودیوریت و گرانیت با اندازه‌های مختلف اشاره کرد (Alavi, 1994). در این مجموعه سنگ‌های ائوسن با ناپیوستگی زاویه دار بر روی سازندهای قدیمی تر قرار گرفته‌اند (علایی مهابادی و همکاران، ۱۳۷۹؛ Stocklin, 1968).



شکل ۱. نقشه راه‌های دسترسی گستره مورد مطالعه به همراه ایستگاه‌های داده برداری ساختاری و گستره مطالعه (کادر سیاه رنگ)



شکل ۲. نقشه گستره مورد مطالعه برگرفته از عالی‌مهابادی و همکاران ۱۳۷۹ به همراه جایگاه آن در نقشه پهنه بندی ایران

بیضوی تنش ملاک مناسبی برای نمایش تغییرات مقادیر سه محور نسبت به هم است. شکل میدان تنش با علامت اختصاری (R) نشان داده می‌شود و رابطه‌ی آن به شرح زیر است.

$$R = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3}$$

$$0 < R < 1$$

همواره نسبت R در محدوده صفر تا یک قرار دارد و شکل آن نیز از حالت دوکی تا کلوچه‌ای متغیر است. به دلیل این که گسل‌های دارای خش لغز مراحل دگرشکلی را در دگرشکلی پیشرونده ثبت می‌کنند، از جمله عوارض مهم جهت برداشت و تحلیل هستند. بنابراین در این پژوهش توجه ویژه‌ای به آن‌ها شده و اساس کار، بر برداشت این عوارض بنا نهاده شده است. بر همین اساس نرم افزارهای متعددی جهت تعیین تنش دیرین ارائه شده است (Ya- TECTOR, 1994; TECTOR, 2000; maji, 2000; Win-Tensor, 2012; FSA, 2013; My Fault, 2013) که در این پژوهش نرم افزار Sg2ps مورد استفاده قرار گرفته است (Sasvári & Baharev, 2014) and types data (Sasvári & Baharev, 2014) .file input single same the using ,groups made user small as requiring ,supported is input data Simplified correct to rotation Data .possible as data of amount paleomagnetic with rotation ,tilting bedding for .available are clustering means-k and declination and calculation estimators stress ANG and RUP and display direction shear resolved ,visualization -RGB .available are visualization stress circle Mohr automatically are outputs graphical vector colored Portable and PostScript Encapsulated in generated great on displays Stereographical .Format Document angle equal or area equal ,plot point pole or circle are projections hemisphere lower or upper and net or direction dip displaying plots Rose .implemented data input the of distribution angle dip with ,strike preliminary for ideal is tool This .available are set and processing quick) field the on interpretation data seconds in visualization .در این نرم افزار چندین روش برای محاسبه‌ی تنش دیرین وجود دارد که از میان آن‌ها داده‌ها با استفاده از روش (Moštafa 2005) مورد بررسی قرار

مواد و روش مطالعه

برای داده برداری در گام اول نقشه‌ی ۱:۱۰۰۰۰۰ گستره مطالعه شد و پس از آن برای بررسی گسل‌ها در واحدهای سنگی متفاوت و با توجه به پراکندگی رخنمون آن‌ها در گستره، هفت ایستگاه به منظور داده برداری انتخاب شد. در این پژوهش تعداد ۶۹ صفحه گسلی دارای خط خش برداشت شد (شکل ۳). پس از این مرحله داده‌ها در نرم افزار SG2PS مورد ارزیابی قرار گرفته و در نهایت موقعیت میدان تنش با استفاده از سطوح گسلی به دست آمد.

ارزیابی کمی و کیفی ساختارهای شکننده از جمله روش‌های مهم و کلیدی برای درک توزیع و تکامل میدان‌های تنش دیرین است. به دلیل اهمیت این موضوع بسیاری از دانشمندان به ابداع روش‌های مختلفی برای بازسازی موقعیت تنش پرداختند. (Turner, 1953; Spang, 1972; Carey and Brunier, 1974; Angelier, 1975, 1979, 1984, 1990; Angelier & Goguel, 1979; Etchecopar et al., 1981; Fry, 1999; Nemčok et al., 1984; Gephart & Forsyth, 1999; Orife et al., 2002; Tobore & Lisle, 2003) .عموما این روش‌ها بر مبنای مقایسه‌ی بین خش لغز گسلی و تنش برشی محاسبه شده استوار اند (Hippolyte et al., 2012) (Angelier ۱۹۹۰). همه روش‌های موجود برای محاسبه تنش بر اساس رابطه تنش برشی است که توسط والاس (Wallace, 1951) و بوت (Bott, 1959) توصیف شده است. همه این روش‌های محاسبه با توجه به مفروضات اساسی زیر توسعه یافته اند:

۱. بردار لغزش روی گسل با حداکثر تنش برشی در روی گسل‌ها موازی است.
۲. بلوک‌های احاطه شده به وسیله صفحات گسلی نچرخیده‌اند.
۳. گسل‌ها اثر متقابل بر روی یکدیگر ندارند به عبارت دیگر حرکت در یک گسل مستقل از حرکت روی دیگر گسل‌ها است.
۴. میدان تنش عمل کننده گسل‌ها مستقل از زمان و همگن است.

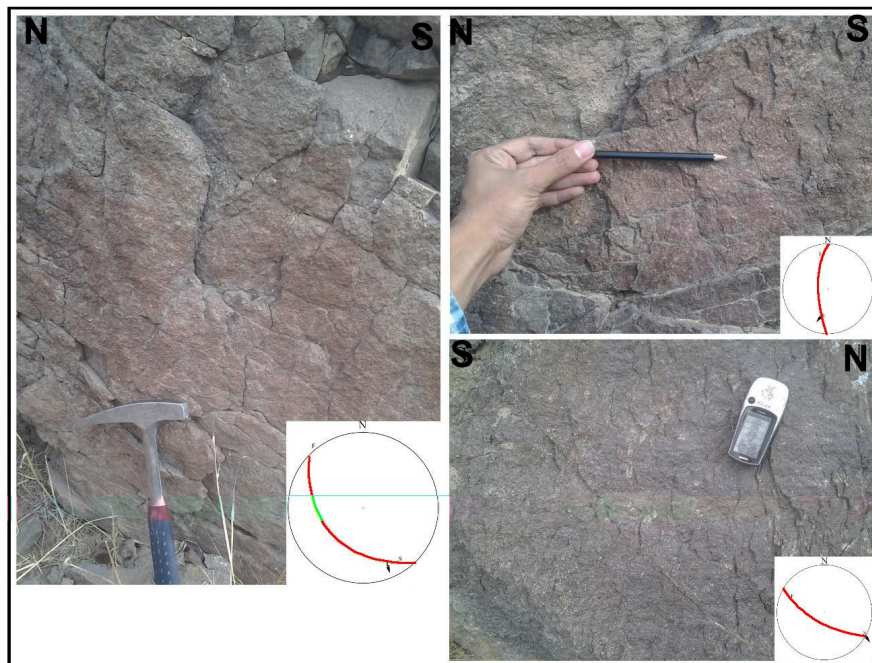
بطور کلی مقادیر محورهای اصلی تنش را به صورت نمایش می‌دهند. موقعیت فضایی محورهای یاد شده نسبت به هم، منجر به ایجاد یک بیضوی می‌شود. بیضوی محدوده تاثیر مولفه‌های تنش را بیان می‌کند. بنابراین کمی کردن شکل

زمین‌ساختی را در خود ثبت کرده باشند. البته در رابطه با بررسی گسل‌ها در رابطه با بررسی گسل‌ها لازم به ذکر است که چون برداشت‌ها عمدتاً در واحدهای جوان (پلیوسن) صورت گرفته و در گستره چین‌خوردگی رخ نداده داده‌ها نیاز به تصحیح نداشته‌اند.

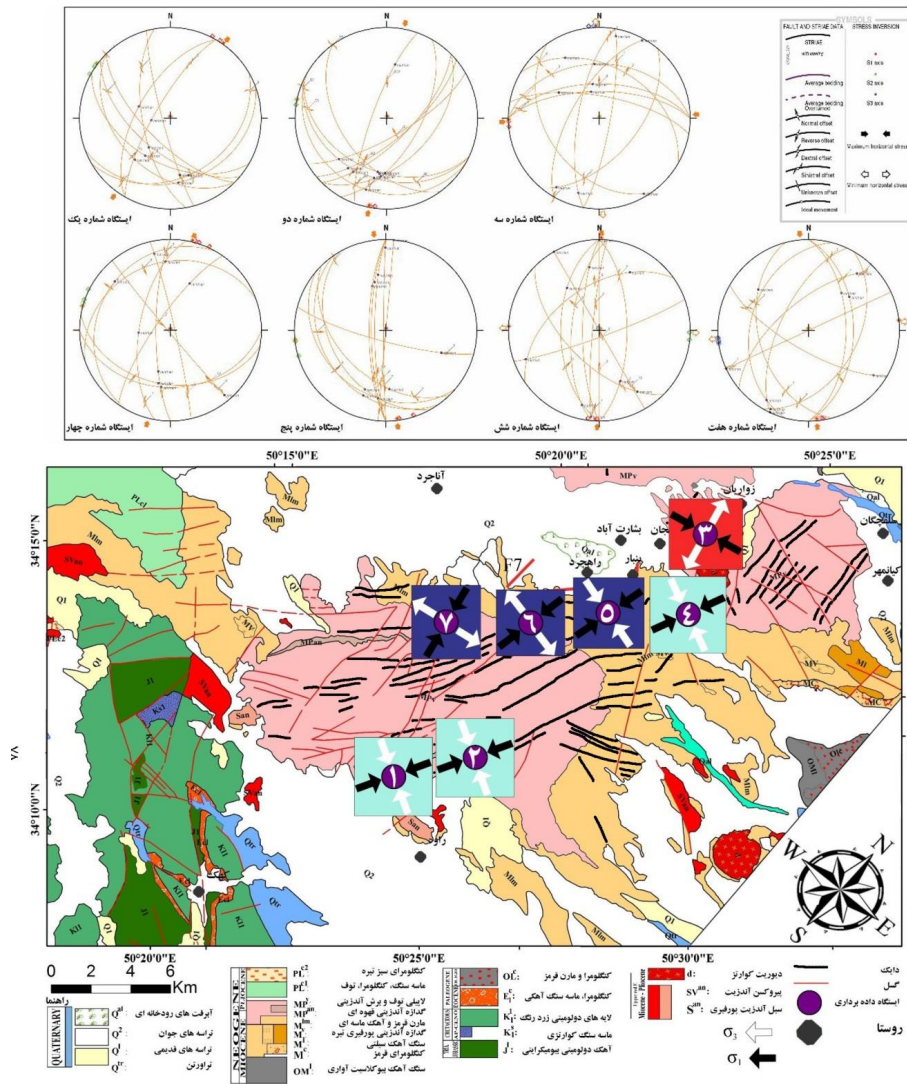
بررسی آینه‌های گسلی برداشت شده

همانطور که در (شکل ۴) مشاهده می‌کنید در ایستگاه‌های شماره ۱، ۲ و ۴ روند محور تنش بیشینه شمال‌خاوری-جنوب‌باختری است، در ایستگاه ۳ روند خاوری-باختری مشاهده شده و در ایستگاه‌های ۵، ۶ و ۷ روند شمالی-جنوبی مشاهده شد.

گرفته است. این روش مانند روش (Angelier, 1990) عمل می‌کند با این تفاوت که در این روش برای محاسبه‌ی طول بردار برشی چندین مرتبه تکرار صورت می‌گیرد تا زاویه انحراف کاهش یابد. در نهایت در این روش از داده‌هایی که میزان زاویه ناهمخوانی آن‌ها کم‌تر از ۳۰ و میزان RUP (مقدار تخمین گر کیفیت بیشینه) آن‌ها کمتر ۲۰-۳٪ است برای محاسبه استفاده شده و مابقی داده‌ها از محاسبه حذف می‌شوند (Moštafa, 2005). در استفاده از روش برگردان تنش باید به این نکته دقت کرد که داده‌های گسلی برداشت شده مربوط به یک رخداد زمین‌ساختی باشند. زیرا واحدهای مختلف گسلیده با افزایش سن می‌توانند چندین رویداد



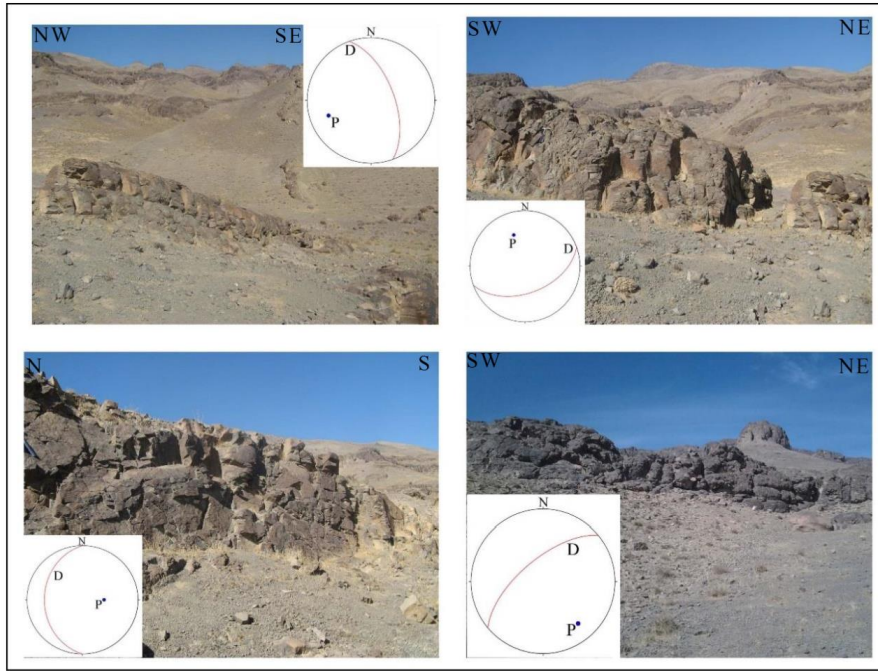
شکل ۳. نمونه‌هایی از آینه‌های گسلی برداشت شده به همراه تصویر استریوگرافیک آن‌ها



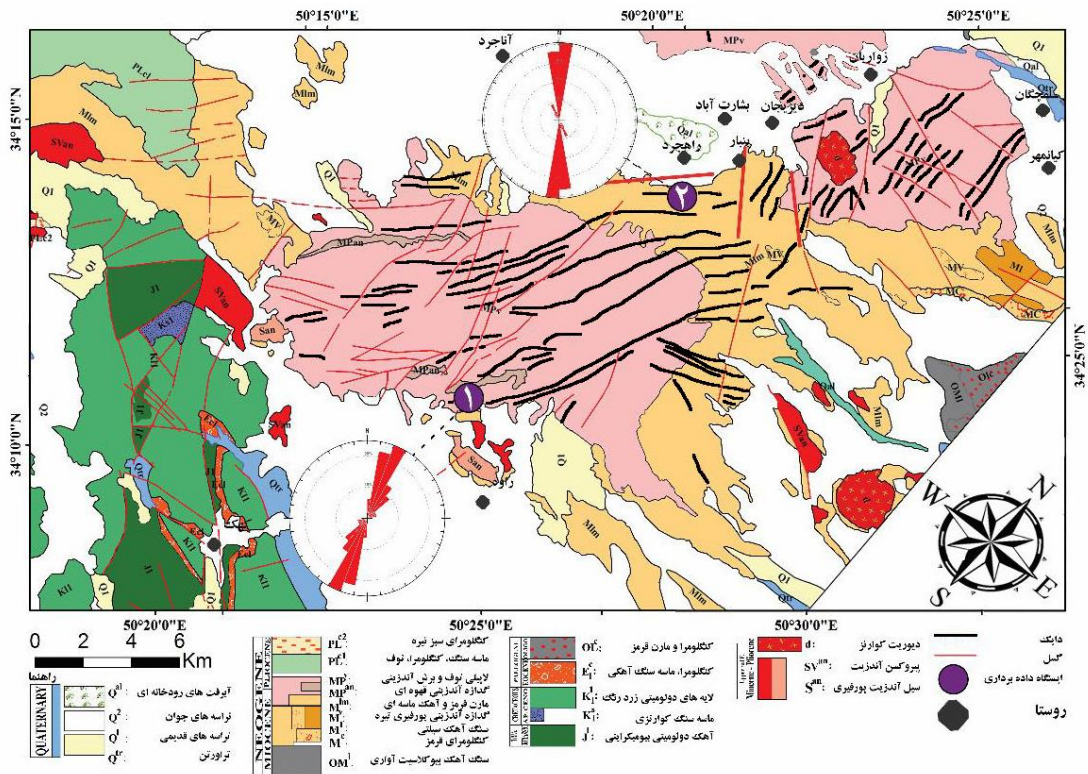
شکل ۴. تعیین وضعیت محورهای اصلی تنش در ایستگاه‌های داده برداری به همراه تصویر استریوگرافیک آن‌ها در هر ایستگاه

در گستره‌ی مورد مطالعه به دست آمد که این روندها نشانگر دو سری دایک با روندهای مختلف در گستره هستند. به گونه‌ای که اولین روند شمالی-جنوبی و دومین روند شمال‌خاوری-جنوب‌باختری است (شکل ۶).

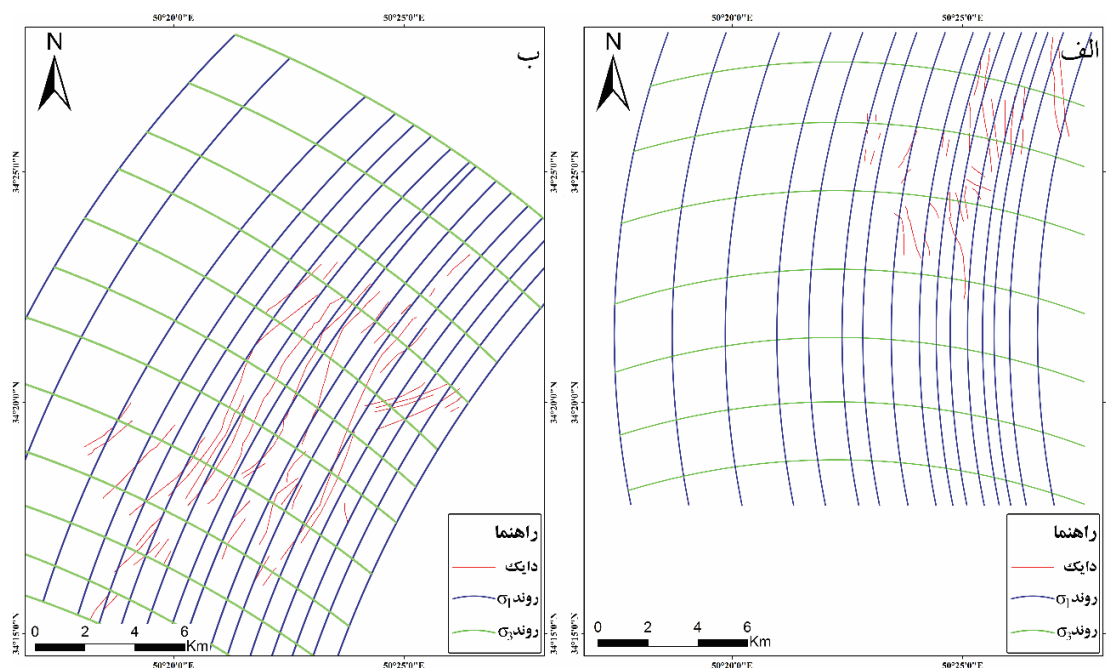
بررسی دایک‌های برداشت شده با استفاده از داده‌های برداشت شده در بازدهی‌های صحرائی (شکل ۵) و همچنین تصاویر ماهواره‌ای و دایک‌های موجود در نقشه‌ی زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ سلفجگان، روند دایک‌ها



شکل ۵. تعدادی از دایک‌های برداشت شده به همراه تصویر استریوگرافیک آن‌ها



شکل ۶. نقشه ایستگاه‌های برداشت دایک برگرفته از عالی‌مهابادی وهمکاران ۱۳۷۹ به همراه رز دیاگرام آن



شکل ۷. نقشه دایک‌ها به همراه تراژکتوری آن‌ها (الف) روند شمالی-جنوبی (ب) روند شمال خاوری-جنوب باختری

بحث

جنبشی از راستگرد به چپگرد در این سامانه پس از پلیوسن رخ داده است. آن‌ها تاکید می‌کنند که اثر چرخش ساعت گرد بلوک خزر جنوبی در تغییر جنبشی گسل‌ها محدود به البرز نبوده و به ایران مرکزی نیز گسترش یافته است. این شواهد با مشاهدات ما در ارتباط با تغییر روند محورهای اصلی تنش در گستره مطالعه و همچنین مطالعه بازگیر و همکاران (بازگیر و همکاران، ۱۳۹۷) مطابقت می‌کند. گستره مورد مطالعه در فلات ایران واقع شده که در مرکز سیستم کمربند همگرایی فعال عربی-اوراسیا قرار دارد و چندین حادثه دگر شکلی و فعالیت تکنونیک ناشی از فروانش و بسته شدن ثنوتیس را تجربه کرده است. (Berberian & King, 1981; Ghasemi & Talbot, 2006; Takin, 1972). ایران مرکزی محدوده‌ای در فلات ایران است که توسط دو رشته کوه البرز و زاگرس احاطه شده است (Morley et al., 2009). پیرامون گستره مطالعه گسل‌های مهمی وجود دارد که از جمله آن‌ها می‌توان به گسل قم، ایندس، کوشک نصرت، کهک و... اشاره کرد (Allen et al., 2011; Babaahmadi et al., 2010; Khodaparast et al., 2020b). مطالعات متعددی در ایران مرکزی صورت گرفته که تکامل زمانی-مکانی پهنه برخوردی عربی-اوراسیایی را مورد مطالعه قرار دادند. بر اساس بررسی‌های صورت گرفته به طور کلی جهت اصلی تنش در ایران شمالی-جنوبی است. ولی به صورت منطقه‌ای

این مقاله بر روی تحلیل تنش دیرین در گستره مورد مطالعه با استفاده از بررسی خط‌خس‌های گسلی و مطالعه دایک‌ها تمرکز دارد. بررسی تنش دیرین یک روش کاربردی برای مطالعه تکامل گستره است. در موقعیت‌هایی که دایک‌ها به تعداد فراوان در سنگ‌های پوسته تزریق می‌شوند، مطالعات مختلف نشان می‌دهد که محورهای اصلی تنش در پوسته کنترل کننده موقعیت هندسی تزریق دایک‌ها هستند به گونه‌ای که از دایک‌ها می‌توان برای ترسیم موقعیت تراژکتورهای تنش استفاده کرد (Ramsay & Lisle, 2000). برپایه تحلیل تراژکتوری تنش براساس روند دایک‌ها در گستره، دو جهت‌گیری متفاوت از تراژکتوری تنش در گستره تعیین شد (شکل ۷). در سال‌های اخیر، در مطالعات متعدد تغییرات در الگوی جنبشی گسل‌های فعال در کمربند البرز مرکزی از مولفه راستگرد به چپگرد طی میوسن و بعد از آن به دلیل چرخش ساعتگرد بلوک خزر جنوبی مورد توجه و تاکید قرار گرفته است (Jackson et al., 2002; Al-lan et al., 2003; guest et al., 2006; Ritz et al., 2006; Hollingsworth et al., 2008; Djamour et al., 2010; Bal-Khodaparast et al., 2013). خداپرست و همکاران (lato et al., 2020a) با مطالعه ساختاری گسترده در پهنه سامانه گسلی کوشک نصرت-ساوه، بیان می‌کنند که وارون شدگی

سن دقیق آن مشخص نیست. اما روند شمال خاور - جنوب باختر جوان تر بوده و احتمالاً هنوز هم حفظ شده است. با توجه به مطالعاتی که بر روی پهنه‌های گسلی مهم نزدیک به گستره مطالعه صورت گرفته، این تغییر روندها پدیده‌ای ناحیه‌ای است که می‌تواند تحت تاثیر چرخش ساعتگرد بلوک خزر جنوبی در پلیو - کوآترنری باشد. به عبارتی تاثیر تکتونیکی این چرخش محدود به البرز نبوده و ایران مرکزی تحت تاثیر قرار داده است. این نتیجه گیری اخیر در مطالعات جدید دیگر نیز مورد توجه قرار گرفته است.

منابع

آقائباتی، ع.، ۱۳۸۳. زمین شناسی ایران، سازمان زمین شناسی کشور.

بازگیر، ا.، علوی، س.، ا.، احتشامی معین آبادی، م.، عبادی، ل.، ۱۳۹۷. تغییر رژیم تنش از میوسن تا پلیو کوآترنری و ارتباط آن با ساختارها و جایگیری دایک‌ها در منطقه سلفچگان، کمر بند ارومیه-دختر. زمین ساخت، ۲ (۶) ۱۵-۲۵.

علایی مهابادی، س.، کهنسال، ر.، قمیان، ی.، ۱۳۷۹ نقشه زمین شناسی سلفچگان-خوره (۱:۱۰۰۰۰۰) انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

ناقه، س.، تدین، م.، صفایی، ه.، ۱۳۹۹. تغییر جهت میدان تنش در پهنه گسلی کاشان در زمان نوژن، بخش میانی پهنه ارومیه دختر. زمین ساخت، ۴ (۱۵) ۲۰-۳۵.

Alavi, M., 1992. Thrust tectonics of the Binalood region, NE Iran. *Tectonics*, 11(2), 360-370.

Alavi, M., 1994. Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, 229(3-4), 211-238.

Alavi, M., 2004. Regional stratigraphy of the Zagros fold-thrust belt of Iran and its proforeland evolution. *American Journal of Science*, 304(1), 1-20.

Allen, M., B., Vincent, S., J., Alsop, G., I., Ismail zadeh, A., Flecker, R., 2003. Late Cenozoic deformation in the South Caspian region: effects of a rigid basement block within a collision zone. *Tectonophysics* 366, 223-239.

Allen, M., Jackson, J., Walker, R., 2004. Late Cenozoic reorganization of the Arabia -Eurasia collision and the comparison of short-term and longterm deformation rates, *Tectonics*, 23, TC2008, doi:10.1029/2003TC001530.

Allen, M. B., Kheirkhah, M., Emami, M. H., & Jones,

در ایران مرکزی بررسی‌های متعددی صورت گرفته که نتایج متفاوتی را نشان می‌دهد. برخی از این مطالعات تغییرات تنش دیرین را در میوسن-پلیوسن (در اطراف گسل دورونه) از شمال غرب-جنوب شرق به شمال-جنوب را نشان می‌دهد (Tadayon et al., 2017; Tadayon et al., 2018). در دیگر بررسی انجام شده در بخش دیگر ایران مرکزی (شمال باختر گستره مطالعه) که توسط بازگیر و همکاران (بازگیر و همکاران، ۱۳۹۷) صورت پذیرفت تغییرات محورهای اصلی تنش در نوژن به اثبات رسید. به نحوی که محورهای اصلی تنش در فاز اول دارای روند شمالی-جنوبی بوده و در فاز دوم روند به صورت شمال شرق-جنوب غرب تغییر کرده است. در بررسی‌هایی که توسط خداپرست (Khodaparast et al., 2020b) در اطراف گستره در گسل کوشک نصرت انجام شده فعالیت این گسل را ناشی از حرکت بلوک خزر دانسته اند. افزون بر این، ناقه و همکاران (۱۳۹۹) در امتداد گسل کاشان و بر مبنای مطالعه تنش دیرین تغییرات محور تنش را از میوسن به بعد گزارش کرده اند که به نظر می‌رسد این تغییرات موقعیت میدان تنش در بخش میانی ایران مرکزی پس از میوسن کاملاً موثر عمل کرده است.

نتیجه گیری

با توجه به سن سنگ‌های میزبان، زمان تزریق دایک‌ها در گستره مورد مطالعه از اواخر میوسن به بعد و در دو مرحله بوده است. با توجه به برداشت‌های صحرائی امتداد و شیب دایک‌ها و مشاهدات صورت گرفته دو مرحله تزریق و تشکیل دایک‌ها از میوسن به بعد رخ داده است که رزدیاگرام و تراژکتوری آن‌ها رسم شد. از آنجایی که روند دایک‌ها موازی راستای محور تنش بیشینه (تراژکتوری تنش) در زمان تشکیل و تزریق دایک‌ها هستند، روند تنش دیرین در گستره به صورت نقشه تراژکتوری تنش دیرین تهیه گردید. همچنین بر مبنای تحلیل داده‌های خش لغز و آینه‌های گسلی به روش بازگشتی در چند ایستگاه مختلف تغییرات روندهای محورهای دیرین تنش بیشینه و کمینه در این ایستگاه‌ها بدست آمد. براساس نتایج این تحلیل‌ها و همچنین تراژکتوری‌های تنش دیرین مبتنی بر روند دایک‌ها، تغییرات روند محورهای اصلی تنش از نوژن یا پلیو-کوآترنری رخ داده است، به گونه‌ای که راستای تنش بیشینه از راستای شمالی - جنوبی در انتهای میوسن به شمال خاوری - جنوب باختری طی پلیوسن - کوآترنری تغییر کرده است. این تغییر روندها در محورهای تنش دیرین در طی میوسن به بعد رخ داده که البته

- CR Academy of Science, 279D, 891–894.
- Chang, C. P., Angelier, J., Lee, T., G., Huang, C., 2003. From continental margin extension to collision orogeny: structural development and tectonic rotation of the Hengchun peninsula, southern Taiwan, *Tectonophysics*, 361, 61–82.
- Djamour, Y., Vernant, P., Bayer, R., Nankali, H.R., Ritz, J.F., Hinderer, J., Hatam, Y., Luck, B., Le Moigne, N., Sedighi, M., Khorrami, F., 2010. GPS and gravity constraints on continental deformation in the Alborz Mountain range, Iran. *Geophys. J. Int.* 183, 1287–1301.
- Etchecopar, A., Vasseur, G., Daignieres, M., 1981. An inverse problem in microtectonics for the determination of stress tensors from fault striation analysis. *Journal of Structural Geology*. 3(1), 51–65.
- Fry, N., 1999. Striated faults: visual appreciation of their constraint on possible palaeostress tensors. *Journal of Structural Geology* 21(1), 7–27.
- FSA 34.5, 2013. (<http://www.pages-perso-bernard-celerier.univ-montp2.fr/software/dcmt/gral/softw.wind.html>)(accessed 28.04.13).
- Ghasemi, A., Talbot, C., J., 2006. A new tectonic scenario for the Sanandaj-Sirjan Zone (Iran). *Journal of Asian Earth Sciences*, 26(6), 683–693. <https://doi.org/10.1016/j.jseas.2005.01.003>
- Gephart, J., W., Forsyth, D. W., 1984. An improved method for determining the regional stress tensor using earthquake focal mechanism data: application to the San Fernando Earthquake sequence. *Journal of Geophysical Research* 89(B11), 9305–9320.
- Guest, B., Axen, G.J., Lam, P.S., Hassanzadeh, J., 2006. Late Cenozoic shortening in the west-central Alborz Mountains, northern Iran, by combined conjugate strike-slip and thin-skinned deformation. *Geosphere* 2, 35–52.
- Hippolyte, J. C., Bergerat, F., Gordon, M. B., Bellier, O., Espurt, N., 2012. Keys and pitfalls in mesoscale fault analysis and paleostress reconstructions, the use of Angelier's methods. *Tectonophysics*, 581, 144–162. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2012.01.012>
- Hollingworth, J., Jackson, J., Walker, R., Nazari, H., 2008. Extrusion tectonics and subduction in the eastern South Caspian. *Geology*, 36, 763–766.
- Jackson, J., Priestley, K., Allen, M., Berberian, M., 2002. Active tectonics of the South Caspian basin. *Geophysical Journal International*. 148, 214–245.
- S. J. (2011). Right-lateral shear across Iran and kinematic change in the Arabia–Eurasia collision zone. *Geophysical Journal International*, 184(2), 555–574.
- Angelier, J., 1975. Sur l'analyse de mesures recueillies dans des sites failles: l'utilité d'une confrontation entre les méthodes dynamiques et cinématiques. *CR Seances Acad.Sci.Paris D281*, 1805–1808.
- Angelier, J., 1979. Determination of the mean principal directions of stresses for a given fault population. *Tectonophysics* 56(3–4), T17–T26.
- Angelier, J., Goguel, J., 1979. Sur une méthode simple de détermination de saxes principaux des contraintes pour une population de failles. *CR Academy Science*, 288(1), 307–310.
- Angelier, J., 1984. Tectonic analysis of fault slip datasets. *J. Geophys. Res.* 89(B7), 5835–5848.
- Angelier, J., 1990. Inversion of field data in fault tectonics to obtain the regional stress III: a new rapid direct inversion method by analytical means. *Geophys. J. Int.* 103(2), 363–376. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.1990.tb01777.x>
- Babaahmadi, A., Safaei, H., Yassaghi, A., Vafa, H., Naeimi, A., Madanipour, S., & Ahmadi, M. (2010). A study of Quaternary structures in the Qom region, West Central Iran. *Journal of Geodynamics*, 50(5), 355–367.
- Ballato, P., Stockli, D.F., Ghassemi, M.R., Landgraf, A., Strecker, M.R., Hassanzadeh, J., Friedrich, A., Tabatabaei, S.H., 2013. Accommodation of transpressional strain in the Arabia–Eurasia collision zone: new constraints from (U-Th)/He thermochronology in the Alborz Mountains, N Iran. *Tectonics* 32, 1–18. <https://doi.org/10.1029/2012TC003159>.
- Berberian, M., King, G., C., P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 18(2), 210–265.
- Bergerat, F., Sæmundsson, K., Fourel, L., Angelier, J. 2013. Structure and activity of the geothermal field of Hvalfjörður (Iceland) from brittle tectonic, geothermal and paleostress analysis. *Bulletin de la Société Géologique de France*, 184(4–5), 451–465.
- Bott, M., H., P., 1959. The Mechanics of Oblique Slip Faulting. *Geological Magazine*, 96(2), 109–117. <https://doi.org/10.1017/S0016756800059987>
- Carey, M., E., Brunier, M., B., 1974. Analyse théorique et numérique d'un modèle mécanique élémentaire appliquée à l'étude d'une population de failles.

- calculation. *Computers and Geosciences*, 66, 81–93. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2013.12.010>
- Spang, J., H., 1972. Numerical method for dynamic analysis of calcitewinlamellae. *Geological Society America Bulletin*, 83(2), 467–472.
- Stocklin, J., 1968. structural History and Tectonics of iran. 52(7).
- Tadayon, M., Rossetti, F., Zattin, M., Nozaem, R., Calzolari, G., Madanipour, S., Salvini, F., 2017. The post-eocene evolution of the Doruneh Fault region (Central Iran): the intraplate response to the re-organisation of the Arabia-Eurasia collision zone. *Tectonics* 36, 3038–3064. <https://doi.org/10.1002/2017TC004595>
- Tadayon, M., Rossetti, F., Zattin, M., Calzolari, G., Nozaem, R., Salvini, F., Faccenna, C., Khodabakhshi, P., 2018. The long-term evolution of the Doruneh Fault region (Central Iran): a key to understanding the spatio-temporal tectonic evolution in the hinterland of the Zagros convergence zone. *Geology*. 1–26.
- Takin, M., 1972. Iranian Geology and Continental Drift in the Middle East. *Nature*, 235(5334), 147–150. <https://doi.org/10.1038/235147a0>
- TECTOR, 1994. <https://sites.google.com/site/jacquesangelier/webcounter> (accessed 03.03.13).
- TECTOR, 2000. https://sites.google.com/site/jacquesangelier/structuresacceptedin_tectorsoftwares (accessed 03.03.13).
- Tobore, O., Lisle, R., J., 2003. Numerical processing of palaeostress results. *Journal of Structural Geology* 25(6), 949–957.
- Turner, F.J., 1953. Nature and dynamic interpretation of deformation lamellae in calcite of three marbles. *American Journal of Science* 251, 276–298
- Wallace, R., E., 1951. Geometry of Shearing Stress and Relation to Faulting. *The Journal of Geology*, 59(2), 118–130. <https://doi.org/10.1086/625831>
- Win-Tensor2012 ,4.0 . <http://www.damiendelvaux.be/Tensor/tensor-index.html> (accessed 04.03.13).
- Yamaji, A., 2000 . The multiple inverse method: A new technique to separate stresses from heterogeneous fault-slip data. *Journal of Structural Geology* 452–441 ,(4)22.
- Khodaparašt, S., S. Madanipour, E. Enkelmann, R. Nozaem, and K. Hessami. 2020a. Fault Inversion in Central Iran: Evidence of Post Pliocene Intra-continental Left Lateral Kinematics at the Northern Iranian Plateau Margin. *Journal of Geodynamics*, 140:101784. doi: 10.1016/j.jog.2020.101784.
- Khodaparašt, S, Madanipour, S., Nozaem, R., 2020b. Structural Evidence on Strike Slip Kinematic Inversion of the Kushk-e-Nosrat Fault Zone, Central Iran. *Geopersia*, 10(1), 195–209. doi: 10.22059/GE-OPE.2020.291450.648508.
- Madanipour, S., Yassaghi, A., Ehlers, T.A., Enkelmann, E., 2018. Tectonostratigraphy, structural geometry and kinematics of the NW Iranian Plateau margin: insights from the Talesh Mountains, Iran, *American Journal of Science*, 245–208 : (2) 318 .
- Morley, C.K., Kongwung, B., Julapour, A., Abdolghafourian, M., Hajian, M., Waples, D., Warren, J., Otterdoom, H., Srisuriyon, K., Kazemi, H., 2009. Structural development of a major late Cenozoic basin and transpressional belt in central Iran: The Central Basin in the Qom– saveh area. *Geosphere* 5, 325–362. <https://doi.org/10.1130/GES00223>.
- Moštafa, M., E., 2005. Iterative direct inversion: An exact complementary solution for inverting fault-slip data to obtain palaeostresses. *Computers and Geosciences*, 31(8), 1059–1070 <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2005.02.012>
- MyFault, 2013. <http://pangaeasci.com/index.php?page=myfault> (accessed 03.03.13).
- Nemčok, M., Kovač, D., Lisle, R.J., 1999. Stress inversion procedure for polyphase calcite twin and fault/slip datasets. *J. Struct. Geol.* 21(6), 597–611.
- Orife, T., Arlegui, L., Lisle, R. J., 2002. DIP SLIP: a Quick Basic stress inversion program for analysing sets of faults without slip lineations. *Comput. Geosci.* 28(6), 775–781.
- Ramsay, J., G., Lisle, R., J., 2000. *Modern structural Geology* vol.3, Academic Press.
- Ritz, J.F., Nazari, H., Salamati, R., Shafeii, A., So-laymani, S., Vernant, P., 2006. Active transtension inside Central Alborz: a new insight into the Northern Iran–southern Caspian geodynamics. *Geology* 34, 477–480.
- Sasvári, Á., Baharev, A., 2014. SG2PS (structural geology to postscript converter) - A graphical solution for brittle structural data evaluation and paleostress