

بررسی وضعیت میدان تنش موثر بر دگرریختی سازند مخزنی مزدوران، خاور کپه داغ

مصطفی قنادیان*^۱، بهنام رحیمی^۲، سید کیوان حسینی^۲، علی شبان^۴

^۱مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی، Mostafaghadian@gmail.com

^۲مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، گروه زمین شناسی،

b-rahimi@ferdowsi.um.ac.ir

^۳مشهد، میدان آزادی، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده علوم، پژوهشکده زلزله شناسی،

k-hosseini@um.ac.ir

^۴تهران، ابتدای خیابان سنول، مدیریت اکتشاف، شرکت ملی نفت ایران

Alishaban2001@yahoo.com

چکیده:

آگاهی از وضعیت تنش زمین ساختمانی امروزی در اکتشاف و تولید نفت یک مسئله بسیار ضروری می باشد. هدف اصلی این پژوهش، تعیین تنش موثر بر دگرریختی سازند مخزنی مزدوران به عنوان مهم ترین سنگ مخزن شمال خاوری ایران می باشد. برای رسیدن به این مهم از داده های میدانی مانند: درزه ها، شکستگی های هم یوغ و گسل ها (نرمال، معکوس، امتداد لغز) استفاده گردیده است. موقعیت محورهای اصلی تنش (σ_1 ، σ_2 ، σ_3) با استفاده از روش برگشتی محاسبه گردید که بر این اساس محور اصلی تنش افقی موثر بر سازند مخزنی مزدوران $N025 \pm 20^\circ$ می باشد.

کلید واژه ها: تنش موثر، سازند مزدوران، روش برگشتی.

۱- مقدمه

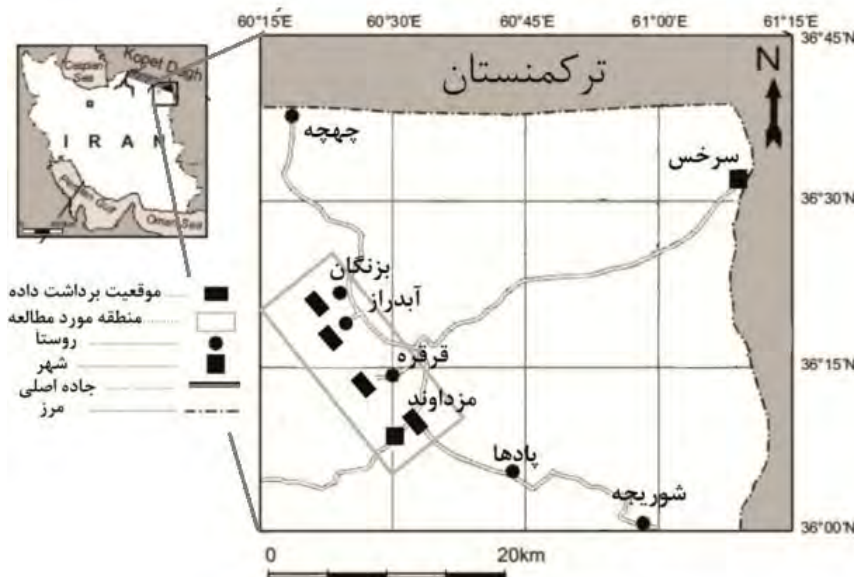
آگاهی از وضعیت تنش زمین ساختی امروزی در اکتشاف و تولید نفت یک مسئله بسیار ضروری می باشد، و به طور خاص یک عامل کلیدی در مواردی همچون: ثبات گمانه، زهکشی مخزن و الگوهای سیلابی، جریان سیال در مخازن طبیعی شکسته، تحریک شکستگی های هیدرولیکی و تغییر تراوایی توسط فعالیت مجدد گسل ها است [44]. برای بررسی وضعیت تنش در یک سنگ مخزن لازم است به بررسی زمین ساخت ناحیه ای در منطقه پرداخته شود. تغییر شکل های زمین ساختی در ایران در نتیجه همگرایی بین صفحات عربی و اوراسیا ایجاد شده اند. این همگرایی به وسیله کوتاه شدگی پوسته و گسلش امتداد لغز در زون های مختلف ساختاری مانند زاگرس، البرز، کپه داغ و زون فرو رانش فعال مکران رخ داده است، معادل اصلی زون تغییر شکل یافته در مرز شمال خاوری برخورد صفحه عربی با اوراسیا، زون کپه داغ می باشد. رشته کوه کپه داغ با راستای NW-SE جداکننده ایران مرکزی از اوراسیا (پلت فرم توران) می باشد [36,37]. در سه دهه گذشته تلاش برای تعیین چگونگی زمین ساخت شمال خاوری ایران باعث آشکار شدن ساختارهای مختلف و مشخص شدن وضعیت زمین پویایی تغییر شکل در طی سنوزویک شده است [17,27,36,37].

بررسی های زمین ساخت شکننده، یکی از ابزارهای مهم در مطالعه تاریخ دگر شکلی بخش سطحی پوسته زمین است. چنین بررسی هایی، پیش تر تنها در خاک جمهوری ترکمنستان در گستره شمالی زون کپه داغ انجام شده است و برای اکتشاف ذخایر هیدروکربن از آن استفاده شده است. سازند کریناته مزدوران متعلق به ژوراسیک بالایی، سنگ مخزن میادین گازی مهم حوضه کپه داغ همچون خانگیران و گنبدلی می باشد [22]. بر این اساس، بر آن شدیم تا با استفاده از شواهد میدانی و برداشت ساختارهای شکننده به بررسی وضعیت میدان تنش موثر در طی چین خوردگی و دگربرخی سازند مزدوران گامی در جهت شناخت هر چه بهتر چگونگی تکوین زمین ساختی سازند مخزنی مزدوران واقع در خاور کپه داغ برداریم و امید است این اطلاعات در راه اکتشاف هر چه بهتر ذخایر هیدروکربوری در این گستره از خاک عزیز ایران کمکی باشد.

۲- زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

رشته کوه کپه داغ از خاور دریای خزر تا شمال خاوری ایران، بخش هایی از ترکمنستان و شمال افغانستان توسعه یافته است [1,8]. این کمربند با راستای NW-SE جداکننده سیر توران از ایران مرکزی است [20]. بر اساس موسوی حرمی و برنر [28]، نرخ رسوب گذاری ۹۸/۲ متر در هر میلیون سال برای شرق کپه داغ محاسبه شده است که این مقدار نشانگر نرخ نسبتاً بالای رسوب گذاری در این ناحیه است. همچنین افشارحرب [1]، معتقد به نهشته شدن بیش از ۶۰۰۰ متر سنگ رسوب در طی ژوراسیک میانی تا میوسن در حوضه کپه داغ می باشد. به اعتقاد برانت و همکاران [7] بر اثر برخورد صفحه لوت به سکوی توران در زمان الیگوسن-اواسط میوسن نهشته های سیلیسی آواری و کریناته دریای وسیع ژوراسیک - میوسن به سری های چین خورده و رو رانده تغییر یافته اند. در طی کالوین، پیشروی دریا از شمال باختری سبب رسوب گذاری سازند کریناته مزدوران در ژوراسیک بالایی بر روی نهشته های سیلیسی آواری سازند کشف رود به سن باژوسین-باتونین شده است، سازند مزدوران یک توالی کریناته ضخیم لایه (بیش از ۱۲۰۰ متر) می باشد که سنگ مخزن اصلی ذخایر گاز در شمال خاوری ایران می باشد، این نهشته ها در طی ژوراسیک بالایی (کالوین-کیمریجین) در حوضه رسوبی کپه داغ نهشته شده است [23]. سازند مزدوران سنگ مخزن میادینی همچون خانگیران، گنبدلی و توس در زون کپه داغ می باشد و با توجه به اهمیتی که تعیین تنش حاکم بر سنگ مخزن در مراحل اکتشاف، استخراج و تولید نفت و گاز دارند، مطالعه ساختارهای موجود در سازند مزدوران به عنوان سنگ مخزن اصلی منطقه حائز اهمیت می باشد. طاقدیس مزدوران با طول ۷۲ کیلومتر دارای روند شمال غرب - جنوب شرق و میل

به سمت جنوب شرق در بخش شرقی کپه داغ واقع شده است، منطقه مورد مطالعه بر روی سازند مزدوران واقع در یال شمال شرقی این طاق‌دیس و در باختر میدان گازی توس واقع در حدود ۷۵ کیلومتری جنوب غربی شهرستان سرخس می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در شرق کپه داغ، واقع در ۷۵ کیلومتری شهرستان سرخس

۳- روش مطالعه

یکی از فنون متداول بازسازی تنش دیرینه، تحلیل داده‌های زمین ساخت شکننده است که در زمین شناسی و ژئوفیزیک، جهت بررسی تنش امروزی و تنش دیرینه مرسوم است. در طی چند دهه اخیر، روش‌های بسیاری برای بازسازی تنش و تنش دیرینه محلی گسترش یافته است. این گونه اندازه گیری محلی تنش دیرینه نه تنها توصیف سازوکارهای محلی را ممکن می‌سازد، بلکه در شناسایی زمین ساخت ناحیه‌ای در مقیاس صفحه‌ای نیز کمک شایانی می‌کند. البته برای دستیابی به این هدف، باید مطالعات بر مبنای بازسازی منظم وقانونمند رژیم‌های تنش پیش رونده، در سکوه‌های قاره‌ای باشد. مطالعه دگر شکلی شکننده در سکوه‌های قاره‌ای کلیدی برای بازسازی تحولات ناحیه‌ای است [4]. روش‌های متداولی برای تحلیل داده‌ها توسط دانشمندان بسیاری مورد بررسی قرار گرفته است. از میان روش‌های موجود برای اندازه گیری تانسورهای تنش دیرینه، روش‌های ریاضی مبتنی بر وارونه سازی داده‌های لغزش گسلی مورد توجه بسیاری قرار گرفته است. به تازگی تحلیل ساختارهای کششی و فشارشی (دِرزه‌ها و استیلولیت‌ها) نیز در کنار این روش‌ها قرار گرفته‌اند [3].

برای دستیابی به جهت و وضعیت تنش در سازند مخزنی مزدوران در خاور کپه داغ، ۴ ایستگاه اصلی و ۳۴ موقعیت اندازه گیری برگزیده شد که در مجموع، ۹ صفحه گسلی و خش لغزهای مربوط به آن‌ها و تعداد بیش از ۲۰۰۰ صفحه جوینت و شکستگی هم یوغ و دو سری برگوارگی برداشت گردیدند. داده‌های به دست آمده توسط برنامه رایانه‌ای Win-Tensore1.4.23 پردازش شده‌اند. در این روش فرض بر این است که خش لغزهای روی صفحه گسلی جهت حداکثر نیروی برشی را نشان می‌دهند. پس در این صورت با برعکس کردن این پدیده می‌توان به جهت تنش‌های یافت که مسبب صفحه گسلی و خش لغزهای آن شده است، از این رو به این روش برای بازسازی جهت تنش‌های اصلی ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$) روش برگشتی (Inversion) گفته می‌شود. نکته مهمی که در این روش برای بازسازی جهت

تنش‌های اصلی (بیشینه، میانی، کمینه) وجود دارد این موضوع می‌باشد که مقدار آن را به وسیله بیضوی تنش (R) تعریف می‌کند. شکل نسبی بیضوی تنش در این برنامه به صورت رابطه ۱ تعریف شده است:

$$R = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} \quad (1)$$

نسبت R (شکل بیضوی) می‌تواند بین صفر تا ۱ در تغییر باشد ($0 < R < 1$). محورهای اصلی تنش ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) می‌توانند مختلف باشند، پس انتظار می‌رود بیضوی تنش نیز به شکل‌های مختلفی بروز نماید. در اینجا سه حالت مهم و ساده بیضوی تنش را با توجه به تعریف بیضوی تنش یاد شده در نظر می‌گیریم که عبارتند از:

الف - $R=0$ ، در این حالت مقدار محورهای σ_2 و σ_3 با هم برابر است ($\sigma_2 = \sigma_3 < \sigma_1$) و نشانگر رژیم فشارشی حاکم بر منطقه است.

ب - $R=1/2$ ، مقدار محور σ_1 بزرگ‌تر از σ_2 و σ_3 می‌باشد ($\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$).

ج - $R=1$ ، مقدار محورهای σ_1 و σ_2 با هم برابر است ($\sigma_2 = \sigma_1 > \sigma_3$) و بیانگر رژیم کششی حاکم بر منطقه می‌باشد. برای دست یابی به تانسور تنش مناسب و قابل قبول نکات زیر در نظر گرفته شده است:

الف - پراکندگی مناسب صفحات گسلی و شکستگی در جهات گوناگون یک تانسور را تعریف می‌کند.

ب - زاویه ناهمخوانی بین خش خط اندازه گیری شده و محاسبه شده کمتر از ۳۰ درجه باشد.

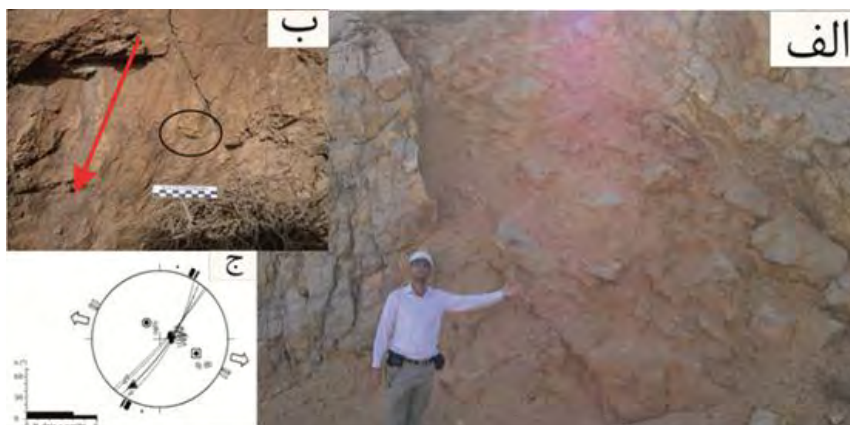
ج - نمودار پراکندگی تعداد اندازه گیری صفحه‌های گسلی و زاویه‌های ناهمخوانی محاسبه شده دارای توضیح گوسی باشند.

نمودار پراکندگی تعداد اندازه گیری و زاویه‌های ناهمخوانی هر تانسور محاسبه شده در پایین نمودار استریوگرافیکی هر ایستگاه مشخص شده است.

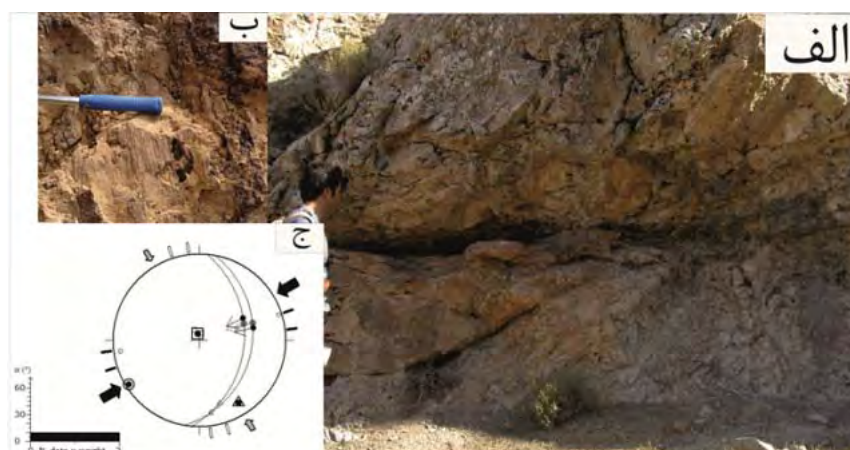
۴-مشاهدات

۴-۱ - گسلش و آرایش محورهای تنش

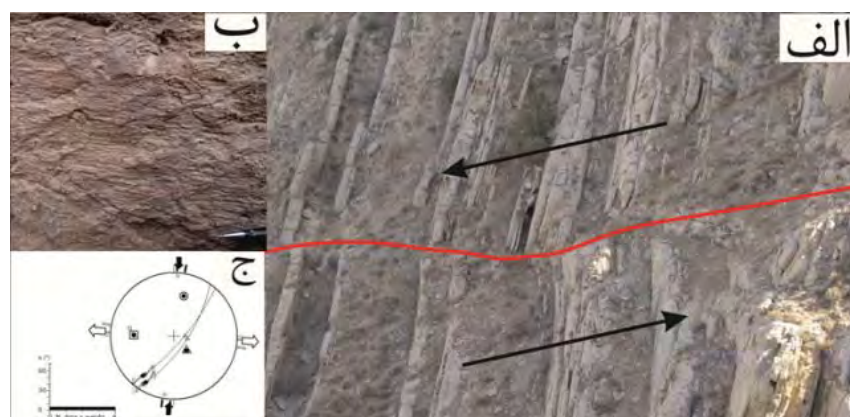
گسلش در سنوزویک پایانی به همراه مدل تغییر شکل در شمال شرق ایران توسط Tchalenko [41], Lyberis and Manby [24], Jackson et al [20], Hollingsworth et al [17,18], Shabanian et al. [36,37], and Siame et al [38] بحث شده است. بر اساس بررسی‌های میدانی انجام گرفته بر روی سازند مزدوران شاهد وجود گسلش شیب لغز (نرمال و معکوس) و امتداد لغز متعددی می‌باشیم. گسل‌ها یکی از مهم‌ترین شواهد در تعیین استرس دیرینه و جهات تنش در مطالعات ساختاری می‌باشند. در ایستگاه‌های آبدراز و بزنگان ۵ گسل شیب لغز نرمال با مشخصات غالب N037/76SE و با ریک 78S که نشانگر رژیم کششی عمود بر سطح این گسل‌هاست مشاهده گردید (شکل ۲). در ایستگاه‌های قرقره ۲ گسل شیب لغز معکوس با مولفه امتدادی چپ گرد با مشخصات غالب N007/31E با ریک 66NE مشاهده گردید (شکل ۳) و همچنین در ایستگاه قرقره و آبدراز ۲ گسل امتداد لغز با مشخصات غالب N038/71SE با ریک 11S مشاهده گردید (شکل ۴).



شکل ۲- گسلش نرمال در سازند مخزنی مزدوران. الف) گسل نرمال در ایستگاه بزنگان، موقعیت ۳۱ (دید به سمت شمال باختری)، ب) خش لغزهای گسلش نرمال به همراه ساختار پله موجود در سطح گسل، ج) صفحات گسل‌های نرمال موجود در سازند مزدوران بر روی شبکه اشمیت.



شکل ۳- گسلش معکوس در سازند مخزنی مزدوران. الف) گسل معکوس در ایستگاه قرقره، موقعیت ۱۲ (دید به سمت جنوب خاوری)، ب) خش لغزهای گسلش معکوس واقع در سطح گسل، ج) صفحات گسل‌های معکوس موجود در سازند مزدوران بر روی شبکه اشمیت.



شکل ۴- گسلش امتداد لغز در سازند مخزنی مزدوران. الف) گسل امتداد لغز در ایستگاه آبدراز، موقعیت ۲۴ (دید به سمت جنوب خاوری)، ب) خش لغزهای گسلش امتداد لغز واقع در سطح گسل، ج) صفحات گسل‌های امتداد لغز موجود در سازند مزدوران بر روی شبکه اشمیت.

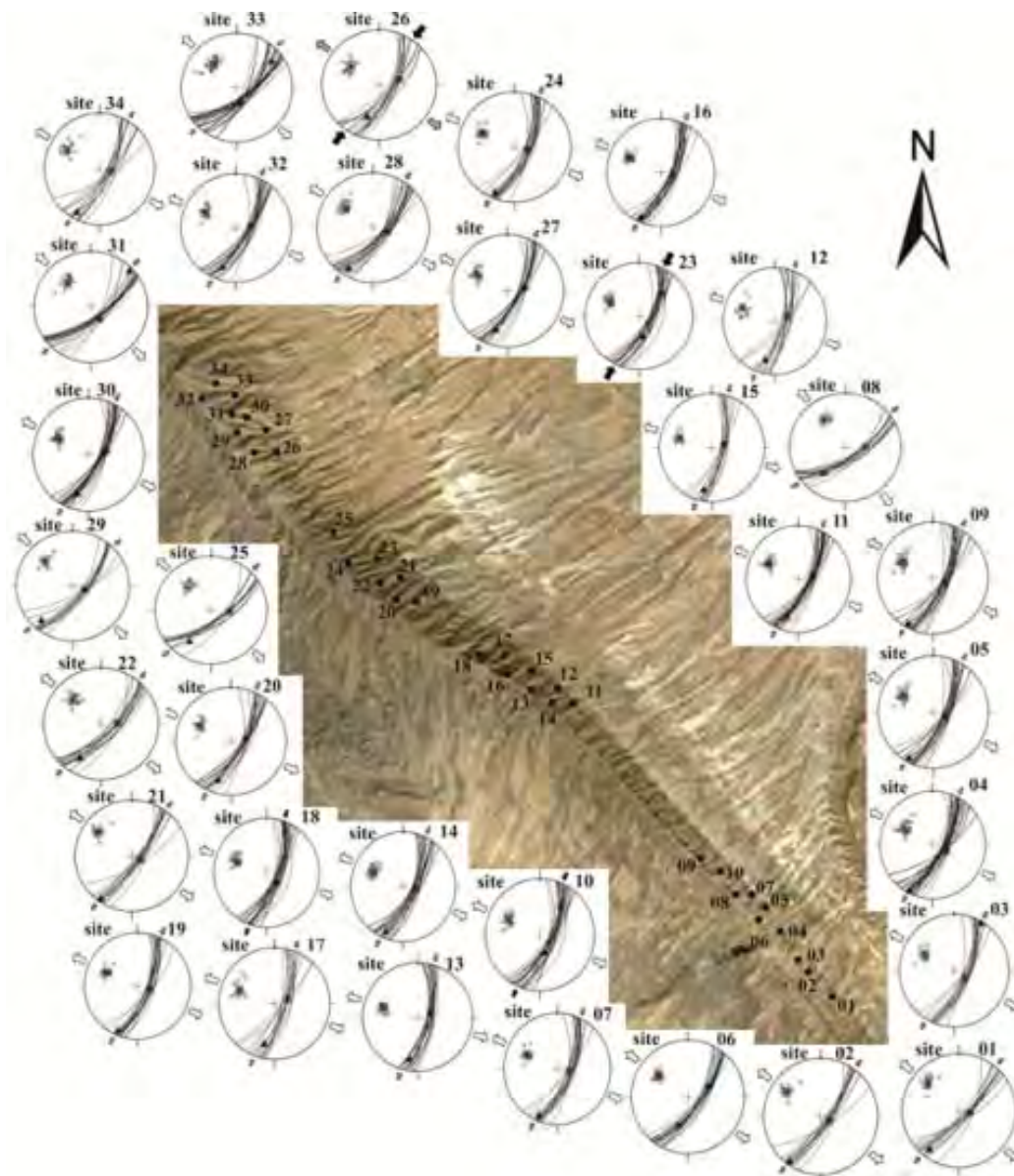
۴-۲ - شکستگی و آرایش محورهای تنش

بسیاری از محققان با بررسی شکستگی‌های گسترده‌ای که در طی چین خوردگی سنگ‌های رسوبی ایجاد می‌شوند به این نتیجه رسیده‌اند که در فرایند چین خوردگی یک ارتباط فیزیکی نزدیک بین شکستگی‌ها و توزیع استرس وجود دارد [9,13,29] با استفاده از شکستگی‌هایی که در طی چین خوردگی ایجاد می‌شوند می‌توان میدان تنش حاکم بر منطقه را تعیین نمود [30]. و همچنین برای تعیین الگوی دگر شکلی، به ویژه بررسی تاثیر این الگو بر گسترش شکستگی‌ها که یکی از مهم‌ترین اقدام اولیه در جهت ارزیابی خصوصیات سنگ مخزن می‌باشد، به مطالعه رخنمون‌های موجود در سطح زمین می‌پردازیم [5].

درزه

یک توافق عمومی که توسط کارهای آزمایشگاهی و نظریات تئوری و شواهد میدانی حمایت می‌شود این است که درزه‌ها در جهت عمود بر تنش اصلی حداقل (σ_3) توسعه می‌یابند [15,31,32]. اما در مقابل مقداری بحث در مورد چگونگی تنش اصلی حداقل وجود دارد، بعضی اعتقاد به کششی بودن تنش اصلی حداقل ($\sigma_3 < 0$) دارند [5]، اما نتایج آزمایشگاهی بیانگر این است که درزه‌ها می‌توانند در زمانی که $\sigma_3 = 0$ یا حتی تحت فشار محدود کننده‌ی اندک ($0 > \sigma_3$) هستند ایجاد شوند [14,26]. درزه‌ها به موازات فشار افقی حداکثر σ_{hmax} یافت می‌شوند [16]. و در تعیین جهت فشار افقی حد اکثر σ_{hmax} استفاده می‌شود [10,11].

درزه‌های سیستماتیک در سازند مخزنی مزدوران در منطقه مورد مطالعه دارای موقعیت $N008^\circ-036^\circ/45-82SE$ می‌باشند (شکل ۵). این دسته از شکستگی‌ها در بیشتر موارد پرشدگی با آراگونیت را نشان می‌دهند که نمایانگر رژیم کششی حاکم بر آن‌ها می‌باشد. در اکثر موارد درزه‌ها از لایه بندی عبور کرده و محدود به لایه بندی نیستند. امتداد درزه‌ها عمود بر محور طاق‌دیس چین خورده سازند مزدوران می‌باشد. همچنین درزه‌ها دارای شیب زیاد بوده و بر لایه بندی عمود می‌باشند همچنین دارای طولی برابر با $1/75$ تا $2/5$ متر می‌باشند.



شکل ۵- ایستگاه‌های اندازه‌گیری شکستگی‌های کششی بر روی سازند مزدوران به همراه صفحات شکستگی‌های کششی بر روی شبکه اشمیت و تعیین جهت کشش بیشینه افقی در هر ایستگاه بر اساس موقعیت جوینت‌ها.

شکستگی‌های هم یوغ

در شکستگی‌های برشی جهت جابجایی موازی با سطح شکستگی می‌باشد. این شکستگی‌ها در درون نمونه سنگ، نسبت به جهت تنش اصلی حداکثر (σ_1) با زاویه حاده، و نسبت به جهت تنش اصلی حداقل (σ_3) با زاویه منفرجه تشکیل می‌شوند، شکستگی‌های برشی وقتی ایجاد می‌شوند که هر سه محور σ_1 ، σ_2 و σ_3 فشارشی باشند. در این حالت زاویه بین شکستگی‌های برشی، زاویه مزدوج خوانده می‌شود [15,16].

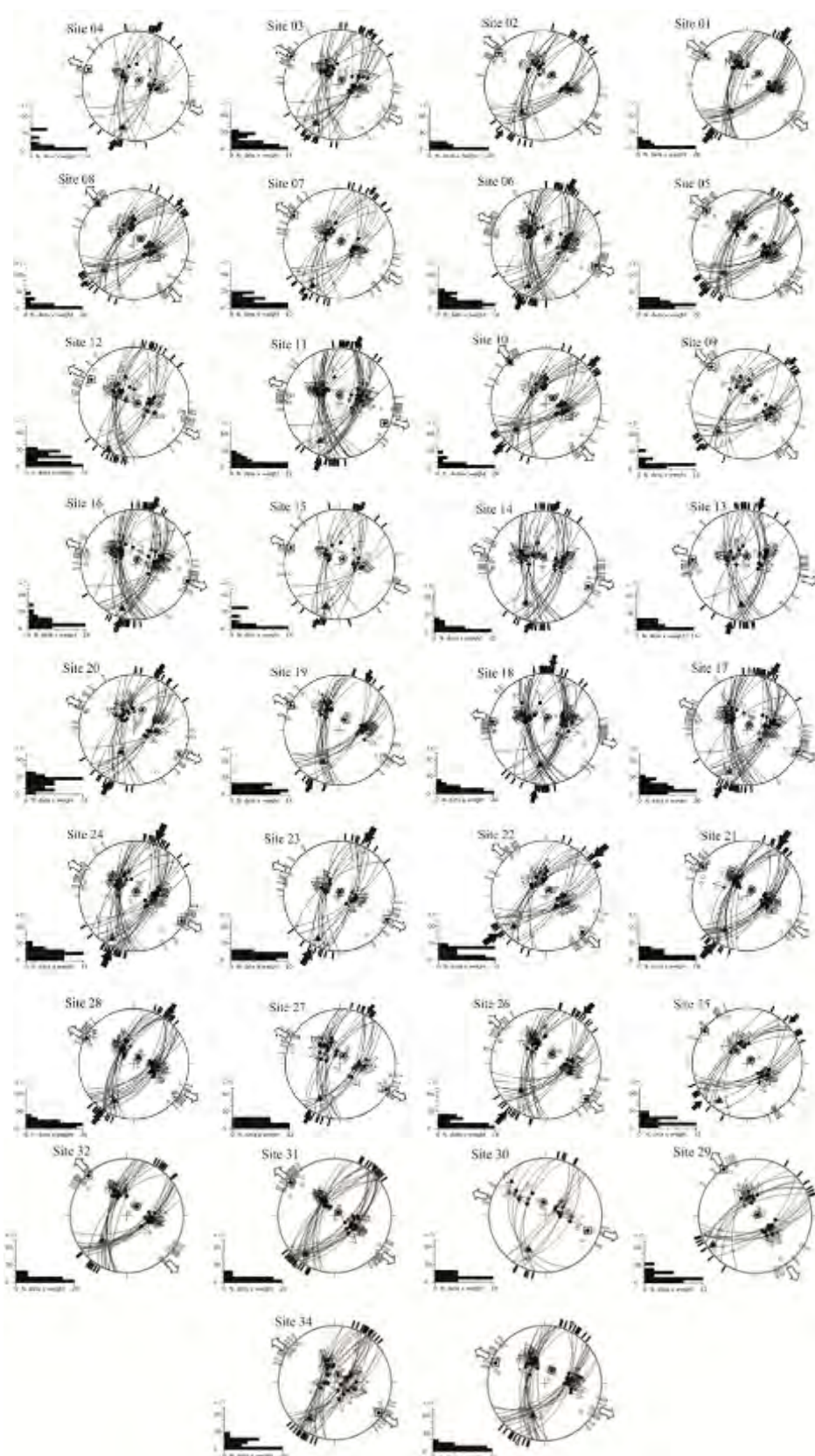
این شکستگی‌ها در ۹۰ درصد موقعیت‌های مورد مطالعه مشاهده گردیدند که دارای موقعیت‌های $N038^\circ-31-82SE$ و $N185^\circ-225^\circ/45-85NW$ و 068° می‌باشند. در بررسی‌های میدانی انجام گرفته مشخص گردید که این شکستگی‌ها از نوع برشی و مزدوج به همراه حرکات لغزشی چپ‌گرد و راست گرد بوده که این شکستگی‌ها در بیشتر موارد از لایه بندی عبور کرده و محدود به لایه بندی نیستند، به طور متوسط دارای طول ۱/۵ متر می‌باشند (شکل ۶).

۵- بحث

همانطور که می‌دانیم ساختارهای زمین شناسی دارای تنوع زیادی در شکل هستند. ما مشاهده نموده‌ایم که تنوع ظاهر ساختارها در یک حوزه وسیع، به دلیل تغییرات هندسی (واتنش‌ها) همراه با دگر شکلی سنگ می‌باشد. یک ساختار زمین شناسی همیشه نمود مستقیمی از تنش‌ها و توزیع آن‌ها در یک حجم از سنگ است. دگرریختی‌های زمین ساختی در ایران عمدتاً در نتیجه حرکات همگرایی بین صفحات عربی و اوراسیا می‌باشد. این همگرایی به وسیله کوتاه شدگی پوسته و گسلش امتداد لغز در زون‌های مختلف ساختاری مانند: زاگرس، البرز، کپه داغ و زون فرو رانش فعال مکران رخ داده است، معادل اصلی زون تغییر شکل یافته در مرز شمال خاوری برخورد صفحه عربی با اوراسیا، زون ساختاری کپه داغ می‌باشد [36,37]. حوضه کپه داغ شامل ۱۰ تا ۱۷ کیلومتر رسوبات متعلق به مزوزویک و ترشیری می‌باشد که در طی حرکات کوه زایی الیگو- میوسن چین خورده‌اند [1,24,39]. چین خوردگی و گسلش در رسوبات حوضه کپه داغ ناشی از فاز کوه زایی آلپ بالایی بوده است. بر اساس مطالعات انجام گرفته کلیه ساختارهای مورد بررسی در این مطالعه در طی چین خوردگی سازند مزدوران تشکیل و یا فعال بوده‌اند. تاکنون مطالعات زیادی بر روی جهت گیری میدان تنش دیرینه حاکم بر ایران و خصوصاً زون ساختاری کپه داغ انجام گرفته است [6,19,21,24,33,34,35,36,37,40,43]. زمانی و همکاران [43] امتداد میانگین میدان تنش فشارشی در کپه داغ را بر اساس روش وارونه سازی مکانیسم کانونی زمین لرزه ها $N32^{\circ}E$ تعیین نمودند، همچنین تنش فشارشی فرعی با امتداد $N172^{\circ}$ در منطقه مورد بررسی برآورد گردیده است. اما شعبانیان و همکاران [34]. بر اساس جنبش شناسی گسل‌های امتداد لغز منطقه کپه داغ و وارونه سازی داده‌های مکانیسم کانونی زمین لرزه‌ها امتداد میدان تنش بیشینه افقی (σ_{hmax}) در ناحیه کپه داغ را $N030 \pm 15^{\circ}$ محاسبه نموده‌اند.

بر طبق بررسی‌های انجام گرفته بر روی گسل‌های با مولفه غالب شیب لغز نرمال و معکوس در سازند مزدوران، امتداد تنش بیشینه افقی $N018 \pm 15^{\circ}$ می‌باشد اما گسلش امتداد لغز در سازند مزدوران در میدان تنش بیشینه افقی با امتداد $N060 \pm 5^{\circ}$ ایجاد گردیده است (جدول ۱).

امتداد درزه‌ها منطبق بر میدان استرس بیشینه و عمود بر استرس کمینه حاکم بر منطقه می‌باشد. همانطور که در شکل ۷ قابل مشاهده می‌باشد درزه‌های بررسی شده از سی و چهار موقعیت برداشت داده بر روی سازند مزدوران واقع در منطقه مورد مطالعه، امتداد تنش بیشینه افقی (σ_{hmax}) را $N030 \pm 25^{\circ}$ نشان می‌دهند. در ایستگاه قرقره امتداد



شکل ۶- صفحه‌های شکستگی‌های هم یوغ و سازو کار آن‌ها به کمک شبکه اشمیت به نمایش در آمده‌اند. زاویه ناهمخوانی (محور عمودی) و تعداد اندازه‌گیری صفحه‌های شکستگی (افقی) در سمت چپ هر ایستگاه مشخص شده‌اند.

جدول 1- ویژگی‌های وضعیت تنش بر اساس گسلش در سازند مزدوران، σ_1 ، محور تنش بیشینه؛ σ_2 ، محور تنش متوسط؛ σ_3 ، محور تنش کمینه؛ Plang، راستای محور تنش به درجه؛ Dip، شیب محور تنش به درجه؛ R، بیضوی تنش (نسبت تفاضل تنش‌ها).

شماره موقعیت برداشت	$\sigma_1[Az/Plg]$	$\sigma_2[Az/Plg]$	$\sigma_3[Az/Plg]$	بیضوی تنش R	رژیم زمین ساختی
۲۲	۱۰۲/۲۸	۱۹۵/۰۶	۲۹۶/۶۱	۰/۹۷	کششی
۲۴	۰۹۶/۲۶	۱۸۹/۰۷	۲۹۲/۶۳	۱	کششی
۱۲	۰۷۶/۰۷	۱۶۸/۱۸	۳۲۶/۷۱	۰/۶۵	فشارشی
۲۹	۱۱۵/۳۸	۲۰۸/۰۴	۳۰۴/۵۲	۱	کششی
۱۶	۰۵۱/۲۰	۳۲۰/۰۳	۲۲۲/۷۰	۰/۷۴	فشارشی
۱۸	۳۵۸/۲۸	۱۳۶/۵۴	۲۵۷/۲۰	۰/۷۲	امتداد لغز
۳۱	۱۰۹/۳۳	۲۰۳/۰۶	۳۰۲/۵۶	۰/۹۳	کششی
۳۲	۱۰۵/۳۱	۱۹۸/۰۵	۲۹۶/۵۹	۰/۹۸	کششی
۲۵	۰۱۰/۳۶	۱۵۳/۴۸	۲۶۵/۱۹	۰/۸۷	امتداد لغز

تنش بیشینه افقی $N015 \pm 10^\circ$ می‌باشد که نسبت به سه ایستگاه دیگر واقع بر روی سازند مزدوران متفاوت است، خمیدگی سازند مزدوران در این ایستگاه می‌تواند یکی از دلایل این اختلاف امتداد میدان تنش در این منطقه با سایر ایستگاه‌ها باشد که سبب تغییرات منطقه‌ای میدان تنش بیشینه شده است. اما بر اساس بررسی‌های به عمل آمده بر روی شکستگی‌های هم یوغ، میدان تنش بیشینه افقی دارای امتداد $N025 \pm 25^\circ$ می‌باشد. در شکل ۶ مشخصات محورهای اصلی تنش وارد بر سازند مزدوران بر اساس شکستگی‌های هم یوغ نشان داده شده است. بر این اساس محور تنش افقی بیشینه (σ_{hmax}) در سازند مزدوران $N022^\circ \pm 15$ می‌باشد.

۶- نتیجه گیری

بر اساس مطالعات انجام گرفته بر روی ساختارهای مختلف مشاهده شده بر روی سازند مخزنی مزدوران از جمله گسلش شیب لغز (معکوس و نرمال) و گسلش امتداد لغز، انواع شکستگی‌ها (جوینت‌ها و شکستگی‌های هم یوغ) و برگوارگی که در طی فاز کوه زایی آلپ بالایی و در طی چین خوردگی سازند مزدوران در خاور کپه داغ ایجاد گردیده‌اند، امتداد بیشینه تنش افقی (σ_{hmax}) که باعث چین خوردگی و دگرریختی در سازند مخزنی مزدوران از اواخر میوسن-اوایل پلیوسن تا حال حاضر شده است، $N025 \pm 20^\circ$ می‌باشد. این امتداد با بیشینه تنش محاسبه شده برای خاور کپه داغ در نتیجه همگرایی بین صفحات عربی و اوراسیا کاملاً همخوانی دارد.

Refrence

1. Afshar-harb, A., 1979, The stratigraphy, tectonics and petroleum geology of the Kopet Dag region, northern Iran. Unpublished Ph.D thesis, Imperial College of Science and Technology, London, 316pp.
2. Alavi, M., Vaziri, H., Seyed-emami, K. and Lasemi, Y., 1997. The Triassic and associated rocks of the Aghdarband areas in central and northeastern Iran as remnant of the southern Turanian active continental margin. *GSA Bull.*, **109**, 1563-1575.
3. Angelier, J., 1994. Inversion of brittle tectonic data in order to determine Stresses & Tensor: Faults, non faults and pressure-tension structures. *Geol. France*, pp.211-219.
4. Bergerat, F., 1994. From Inversion methods to paleostress Field regional stress-III. A new rapid direct inversion method by analytical means. *Geophys. J. Int* Vol. 103, pp. 363-376.
5. Bertotti, G., Immenhauser, A., Taal-van Koppen, J.K.J., 2005. Stratigraphic and regional distribution of fractures in Barremian-Aptian carbonate rocks of Eastern Oman: outcrop data and their extrapolation to Interior Oman hydrocarbon reservoirs. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* 94: 447-461.

6. Bonini.M., Corti.G., Sokoutis.D., Vannucci.G., Gasperini.P., Cloeting.S., 2003, Insights from scaled analogue modelling into the seismotectonics of the Iranian region. *Tectonophysics*, Vol: 376, No:1, P: 137–149.
7. Brunet.M.F., Korotaev.M.V., Eroshov.A.V. and Nikishin.A.M., 2003, The South Caspian Basin: a review of its evolution from subsidence modeling. *Sedimentary Geology*, Vol: 156, No:1, P: 119-148.
8. Buryakovsky.L.A., Chilingir.G.V., and Aminzadeh.F., 2001, *Petroleum geology of the South Caspian Basin*. Gulf Professional Publishing USA, P: 442pp.
9. Cosgrove, J.W., 2000. Forced folds and fractures: an introduction. In: Cosgrove, J.W., Ameen, M.S. (Eds.), *Forced Folds and Fractures*. Geological Society, London, Special Publication, vol. 169, pp. 1–6.
10. Engelder, T., Geiser, P., 1980. On the use of regional joint sets as trajectories of paleostress fields during the development of the Appalachian Plateau, New York. *J Geophys Res* 85:6319–6341.
11. Eyal, Y., Gross, M.R., Engelder, T., Becker, A., 2001. Joint development during fluctuation of the regional stress field in southern Israel. *J Struct Geol* 23:279–296.
12. Garzanti, E. and Gaetani, M., 2002. Unroofing history of late Paleozoic magmatic arcs within the Turan Plate (Tuarkyr, Turkmenistan). *Sedimentary Geology*, 151, 67-87.
13. Gilbert, G.K., 1882. On the origin of jointed structure. *American Journal of Science* 124, 50–53.
14. Gramberg, J., 1989. A non-conventional view on rock mechanics and fracture mechanics. *Balkema Publishers*, Rotterdam, p 250.
15. Hancock, P. L., 1985. Brittle microtectonics: principle and practice. *Journal of Structural Geology* 7, 437-457.
16. Hancock, P.L, Engelder, T., 1989. Neotectonic joints. *Bull Geol Soc Am* 101:1197–1208.
17. Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R., Gheitanchi, M.R., Bolourchi, M.J., 2006. Strikeslip faulting, rotation and along-strike elongation in the Kopeh Dagh Mountains, NE Iran. *Geophys. J. Int.* 166, 1161–1177. doi:10.1111/j.1365-246X.2006.02983.x.
18. Hollingsworth, J., Jackson, J., Walker, R., Nazari, H., 2008. Extrusion tectonics and subduction in the eastern South Caspian region since 10 Ma. *Geology* 36 (10), 763–766. doi:10.1130/G25008A.1.
19. Jackson.J., Haines.J., Holt.W., 1995, The accommodation of Arabia –Eurasia plate convergence in Iran. *J. Geophys. Res*, Vol: 100, No:1, P: 15205– 15219.
20. Jackson.J., Priestley.K., Allen.M. and Berberian.M., 2002, Active tectonics of the South Caspian Basin. *Journal of Geophysical Journal International*, Vol: 148, No:1, P: 214-245.
21. Javidfakhr.B., Bellier.O., Shabanian.E., Ahmadian.S, Saidi.A., 2011, Plio–Quaternary tectonic regime changes in the transition zone between Alborz and KopehDagh mountain ranges (NE Iran). *Tectonophysics*, Vol: 506 No:1, P: 86–108.
22. Kavoosi.M. A., Lasemi.Y., Sherkati.S., Mossavi-harami.R., 2009, Facies analysis and depositional sequences of the upper Jurassic mozduran formation, a carbonate reservoir in the kopet dagh basin, ne iran. *Journal of petroleum geology*, Vol: 32, No:1, P: 235-260.
23. Lasemi.Y., 1995, Platform Carbonates of the Upper Jurassic Mozduran Formation in the Kopet-Dagh Basin, NE Iran– facies paleoenvironments and sequences. *Journal of Sedimentary Geology*, Vol: 99, No:1, P: 151–164.
24. LYBERIS, N., and MANBY, G., 1999. Oblique to orthogonal convergence across the Turan block in the Post-Miocene. *AAPG Bull.*, 83, 1135-1160.
25. Lyberis, N., Manby, G., Poli, J.T., Kalugin, V., Yousouphocaev, H., Ashirov, T., 1998. Post- Triassic evolution of the southern margin of the Turan plate. *C. R. Acad. Sci.* 326, 137–143.
26. Mandl, G., 2000. *Faulting in brittle rocks: an introduction to the mechanics of tectonic faults*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York, p 434.
27. Masson, F., Anvari, M., Djamour, Y., Walpersdorf, A., Tavakoli, F., Daignières, M., Nankali, H., Van Gorp, S., 2007. Large-scale velocity field and strain tensor in Iran inferred from GPS measurements: new insight for the present-day deformation pattern within NE Iran. *Geophys. J. Int.* 170, 436–440. doi:10.1111/j.1365-246X.2007.03477.x.
28. Moussavi-Harami.R. and Brenner.R.L., 1992, Geohistory analysis and petroleum reservoir characteristics of Lower Cretaceous (Neocomian) sandstones, eastern Kopet-Dagh Basin, Northeastern Iran. *Am. Assoc. Pet. Geol. Bull*, Vol: 76, No:1, P: 1200-1208.
29. Murray, G.H.J., 1968. Quantitative fracture study-Spanish pool, McKenzie County, North Dakota. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 52 (1), 57–65.
30. Mynatt, I., Seyum, S., Pollard,D.D., 2009. Fracture initiation, development, and reactivation in folded sedimentary
31. Pollard, D.D, Aydin, A., 1988. Progress in understanding jointing over the past century. *Bull Geol Soc Am* 100:1181–1204.
32. Price, N.J, Cosgrove, J.W., 1990. Analysis of geological structures. Cambridge University Press, Cambridge, p 502. rocks at Rapple Ridge, UT. *Journal of Structural Geology* 31, 1100–1113.
33. Reilinger, R., McClusky, S., Vernant, P., (2006), GPS constraints on continental deformation in the Africa-Arabia-Eurasia continental collision zone and implications for the dynamics of plate interactions, *J. Geophys. Res.*, 111, B05411, doi:10.1029/2005JB004051.

34. Shabanian, E., Bellier, O., Abbassi, M.R., Siame, L., Farbod, Y., 2009p, Plio-Quaternary stress states in NE Iran: Kopeh Dag and Allah Dag-Binalud mountain ranges, TECTO-124778; No of Pages 25. doi:10.1016/j.tecto.2009.10.022.
35. Shabanian, E., Bellier, O., Abbassi, M.R., Siame, L., Farbod, Y., 2010. Plio-Quaternary stress states in NE Iran: Kopeh Dag and Allah Dag-Binalud mountain ranges. Tectonophysics, Vol: 480, No:1, P: 280–304.
36. Shabanian, E., Bellier, O., Siame, L., Arnaud, N., Abbassi, M.R., Cochemé, J. J., 2009b. New tectonic configuration in NE Iran: active strike-slip faulting between the Kopeh Dag and Binalud mountains. Tectonics, Vol: 28, P: 1029–1058.
37. Shabanian, E., Siame, L., Bellier, O., Benedetti, L., Abbassi, M.R., 2009a. Quaternary slip rates along the northeastern boundary of the Arabia–Eurasia collision zone (Kopeh Dag Mountains, Northeast Iran). Geophys. J. Int, Vol: 178, P: 1055–1077.
38. Siame, L.L., Shabanian, E., Bellier, O., 2009. Extrusion tectonics and subduction in the eastern South Caspian region since 10 Ma. Geology.
39. Stocklin, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran: a review, Am. Assoc. Petrol. Geol. Bull., 52(7), 1229–1258.
40. Tavakoli, F., 2007. Present-day kinematics of the Zagros and east of Iran faults, PhD thesis. University of Joseph Fourier, Grenoble.
41. Tchalenko, J.S., 1975. Seismicity and structure of the Kopet Dag (Iran, USSR). Philos. Trans. R. Soc. Lond. Ser. A 278 (1275), 1–28.
42. Vernant, P., Nilforoushan, F., Hatzfeld, D., Abbassi, M.R., Vigny, C., Masson, F., Nankali, H., Martinod, J., Ashtiani, A., Bayer, R., Tavakoli, F., Chéry, J., 2004. Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman. Geophys. J. Int, Vol: 157, No:1, P: 381–398.
43. Zamani, B., Angelier, J., Zamani, A., 2008. State of stress induced by plate convergence and stress partitioning in northeastern Iran, as indicated by focal mechanisms of earthquakes. J. Geodyn. 45, 120–132. doi:10.1016/j.jog.2007.07.003.
44. Tingay, M.R.P., Hillis, R.R., Morley, C.K., King, R.C., Swarbrick, E., Damit, A.R., 2009. Present-day stress and neotectonics of Brunei: implications for petroleum exploration and production. AAPG Bull. 93 (1), 75–100.

Analysis the status of the effective stress field deformed Mozduran reservoir formation, East of the Kopeh-Dagh

Ghanadian, M^{*1}., Rahimi, B¹., Hossini, S,K²., Shaban, A³

^{*1}Faculty of Sciences, Geology Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

²Faculty of Sciences, Physics Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran

³National Iranian Oil Company (NIOC), Exploration Directorate, Tehran, Iran

Abstract:

Knowledge of the present-day tectonic stress is an essential issue in petroleum exploration and production. The main objective of this study is to determine the effective stress on the deformed reservoir formation Mozduran as the main reservoir rock is northeast Iran. To achieve this important, field of data such as joints, conjugate fractures and faults (normal, reverse and strike-slip) has been used. Principal stress axis position (σ_1 , σ_2 , σ_3) was calculated using inversion method based on the main axis of the effective horizontal stress in Mozduran Formation reservoir is $N025 \pm 20^\circ$.

Keywords: Effective stress, Mozduran Formation, Inversion method.