

تحلیل میدان تنش و فشار منفذی با استفاده از بررسی هندسی رگه‌های ژیبسی در تاکدیس میدان نفتی سفید، جنوب باختر ایران

بابک سامانی*

دانشیار، دانشکده علوم زمین دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

b.samani@scu.ac.ir*

دریافت مهر ۱۴۰۴، پذیرش دی ۱۴۰۴

چکیده

در این پژوهش، از رگه‌های ژیبسی موجود در واحدهای سنگی سازند گچساران در تاکدیس نفت سفید به عنوان شاخص‌های مؤثر در تعیین راستای محوره‌های اصلی تنش و مقادیر نسبی فشار منفذی و تنش‌های اصلی استفاده شده است. بدین منظور تحلیل هندسی رگه‌ها با به‌کارگیری داده‌های استریوگرافی قطب رگه‌ها و ترسیم نمودار مور صورت پذیرفت. نتایج حاصل نشان می‌دهد که پراکندگی گسترده قطب رگه‌های ژیبسی بیانگر غلبه فشار منفذی نسبت به تنش میانگین ($P_f > \sigma_2$) در زمان تشکیل آنها بوده است. تحلیل‌های ساختاری نشان داد که محور تنش بیشینه (σ_1) دارای راستای شمال‌باختری- جنوب‌خاوری است که با جهت عمومی رژیم فشارشی در کمربند چین‌خورده و رانده زاگرس مطابقت دارد. مقادیر نسبت فشار محرک (R') در بازه‌ی ۰.۷۳ تا ۰.۸۴ و فشار منفذی در حدود ۴۰۰۴ تا ۴۵۸۱ واحد برآورد گردید. همچنین مقدار نسبت تنش ($\phi = 0.81$) بدست آمده بیانگر شرایط بیضوی تنش فشرده سه محوری در زمان تشکیل رگه‌های ژیبسی است. نتایج این مطالعه بیانگر نقش مستقیم میدان تنش و فشار سیالات در کنترل توسعه رگه‌ها در سنگ‌های گچی سازند گچساران می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: رگه‌های ژیبسی، فشار منفذی، میدان تنش، تاکدیس نفت سفید، سازند گچساران، کمربند چین خورده- رانده زاگرس

۱- مقدمه

سنگ های موجود در پوسته زمین حاوی شکستگی ها و رگه هایی با الگوهای متفاوت هستند که نشان دهنده اهمیت تغییر شکل شکننده در پوسته زمین می باشند. در سنگ های دگرشکل شده الگوی شکستگی ها و رگه ها می تواند هندسه های بسیار پیچیده ای داشته باشند. شکستگی ها و رگه های موجود در سنگ ها که در نتیجه تغییر شکل شکننده ایجاد می شود نشان دهنده یک مکانیزم مهم دگرشکلی در قسمت بالایی پوسته زمین می باشند. در قلمرو زمین شناسی نفت و زمین شناسی اقتصادی مطالعه چگونگی توزیع و هندسه شکستگی ها و رگه ها دارای اهمیت بسیاری می باشد. شکستگی ها در مخازن هیدروکربنی بواسطه ایجاد مسیرهای بالا قوه در حرکت سیال و افزایش تراوایی بسیار با اهمیت می باشند. در زمین شناسی اقتصادی الگوی شکستگی ها و رگه ها نقش به سزایی در مسیرهای تمرکز عناصر معدنی ایفا می کنند. الگوی شکستگی ها و رگه ها در پوسته شکننده زمین حاوی اطلاعاتی در مورد میدان تنش و کرنش در طول تغییر شکل هستند. زمین شناسان ساختاری از الگوی شکستگی ها و رگه ها به عنوان ابزاری جهت تعیین سوگیری تنش های دیرین استفاده می کنند. تعیین جهت گیری محورهای اصلی و مقادیر نسبی تنش در سنگهای دگرشکل شده می تواند به عنوان کلیدی برای فهم و شناخت مناطق مستعد در تمرکز عناصر هیدروکربنی و معدنی به کار گرفته شود. روشهای مختلفی برای اندازه گیری جهت یابی و مقادیر نسبی تنش دیرینه با استفاده از عناصر زمین شناسی و ساختاری توسط محققین مختلف ارائه شده است. به عنوان مثال روش وارون سازی (Inversion method) داده های مربوط به گسل ها و خش لغزهای گسلی یکی از روش های متداول در تحلیل مقادیر نسبی و جهت یابی تنش های دیرین می باشد [۲، ۱۱]. روشهای دیگر مانند استفاده از داده های محورهای نوری کانی های کوارتز و کلسیت نیز در تحلیل مقادیر تنش دیرین بوسیله محققین مختلف ارائه و مورد استفاده قرار گرفته است [۱۴، ۱۵، ۱۶]. توسعه رگه های کانایی مختلف با روندهای متنوع در واحدهای سنگی میزبان یکی از ابزارهای مفید جهت بررسی جهت گیری محورهای تنش و ماهیت نسبی تنش و فشار منفذی در مناطق مختلف می باشد [۲، ۲۰، ۲۱، ۳۳]. در این پژوهش روش پیشنهادی Jouly and Sanderson, 1997 جهت تحلیل راستای تنش های اصلی و مقدار نسبی فشار منفذی در واحدهای سنگی سازند گچساران در میدان نفتی نفت سفید مورد استفاده قرار گرفته است. با توجه به توسعه فراوان شبکه رگه های ژیبسی در واحدهای سنگی سازند گچساران شرایط لازم جهت مطالعه سوگیری میدان تنش و بحث در مورد شرایط نسبی تنش های فشار منفذی فراهم گردیده است. از این رو با استفاده از تصویر قطب رگه های ژیبسی و بکارگیری تحلیل های استریوگرافی و روشهای ترسیمی در حل دایره مور به تحلیل جهت یابی و مقادیر نسبی تنش های اصلی و فشار منفذی که مهمترین کنترل کننده ها در توسعه، بازشدگی و نفوذ سیالات و تشکیل رگه ها هستند پرداخته شده است.

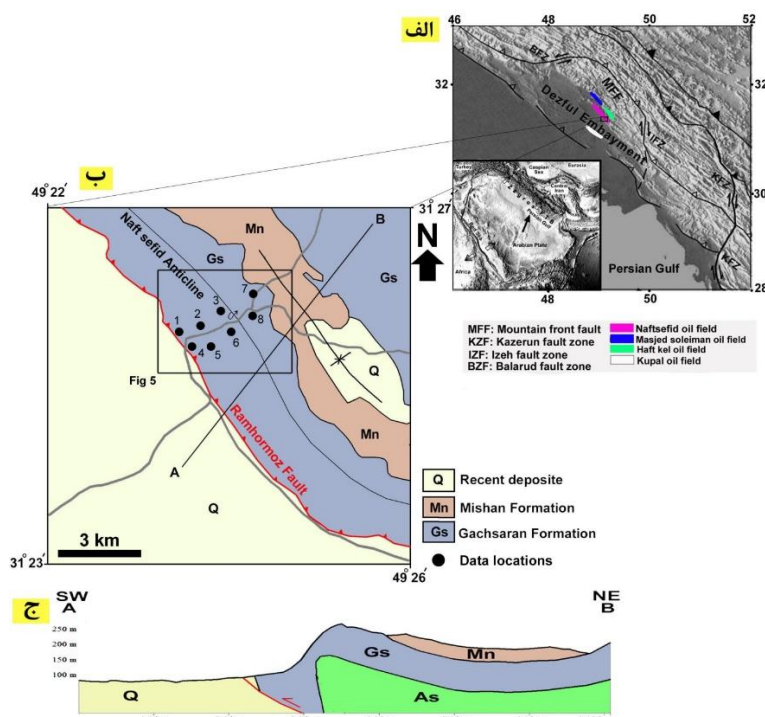
۲- روش کار

با استفاده از تصویر قطب رگه‌های ژئوسی در شبکه هم مساحت و تحلیل های استریوگرافی (StaTect Software) به تعیین جهت گیری تنش های اصلی پرداخته شده است. همچنین با بکارگیری روشهای ترسیمی حل دایره مور مقادیر نسبی تنش های منفذی مورد بحث قرار گرفته است. بر اساس الگوی توزیع قطب رگه‌های ژئوسی (پراکنده یا متمرکز) جهت یابی محورهای اصلی تنش ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) تعیین می‌شود. توزیع پراکنده قطب مجموعه رگه‌ها در شرایطی حاصل می‌شود که فشار منفذی بزرگتر از تنش میانگین باشد ($P_f > \sigma_2$). در صورتیکه فشار منفذی کمتر از تنش میانگین باشد ($P_f < \sigma_2$) قطب مجموعه رگه‌ها جهت یابی محدودی را نشان خواهد داد [۱۲]. در حالت اول به دلیل بزرگتر بودن فشار منفذی نسبت به تنش σ_2 ، رگه‌ها در محدوده وسیعی از جهات توسعه می‌یابند و در تحلیل های استریوگرافی محدوده‌ای که فاقد داده های قطب رگه‌ها می باشد نشان دهنده موقعیت محور تنش اصلی حداکثر می باشد. در حالت دوم به دلیل کوچکتر بودن فشار منفذی نسبت به تنش σ_2 رگه‌ها تنها در محدوده جهت یابی محدودی تشکیل شده و در تحلیل های استریوگرافی محدوده تمرکز داده ها نشان دهنده موقعیت محور تنش اصلی حداقل می باشد. از این رو با توجه به الگوی پراکندگی قطب رگه‌ها و انجام تحلیل‌های استریوگرافی موقعیت محورهای اصلی تنش، سطوح اصلی تنش و میانگین جهت گیری رگه‌ها نسبت به محورهای اصل تنش (زوایای θ) حاصل خواهد گردید. نهایتاً با فرض ثابت بودن مقدار تنش‌های تفاضلی ($\sigma_1 - \sigma_3$) و با ترسیم نمودار مور در یک مقیاس نسبی و دلخواه و با استفاده از مقادیر زوایای θ در سطوح اصلی تنش، مقادیر نسبی تنش‌های اصلی و مقادیر فشار منفذی قابل تخمین خواهد بود [۱۲]. از این رو واحد مشخصی بر روی محور افقی تنش در نمودار مور تعریف نخواهد گردید و کلیه مقادیر بصورت نسبی نمایان می‌شوند.

۳- جایگاه زمین ساختی و زمین شناسی

کمر بند کوهستانی زاگرس بخشی از کمر بند کوهزایی آلپ-همالیا بوده که در حاشیه شمال شرقی صفحه سنگ‌کره‌ای آفریقا-عربی قرار گرفته است [۱، ۲۳، ۲۶، ۲۷، ۲۸، ۳۱، ۳۴]. کمر بند کوهزایی زاگرس در نتیجه بسته شدن اقیانوس نئوتیس، فرورانش پوسته اقیانوسی به زیر خرده قاره ایران مرکزی و برخورد قاره-قاره از زمان کرتاسه پسین تا ترشیری شکل گرفته است [۵، ۶، ۲۳، ۳۰]. زاگرس در راستای شمال شرق به جنوب غرب شامل سه بخش اصلی: کمر بند ماگمایی ارومیه دختر، کمر بند دگرگونی سندج-سیرجان، و کمر بند چین و رانده زاگرس با روند عمومی شمال غرب- جنوب شرق می‌باشد [۱۸، ۱۹]. ستون چینه شناسی زاگرس حدوداً شامل ۱۲ کیلومتر واحدهای سنگی فانروزوئیک بوده که بر روی پی سنگ پرکامبرین قرار گرفته است [۱، ۶، ۹، ۱۰]. واحدهای سنگی موجود در زاگرس معرف مراحل تکامل یک حوضه از فلات قاره غیرفعال تا کافت و در نهایت مراحل مختلف تغییر شکل در ارتباط با فرارانش افیولیت‌ها و برخورد قاره‌ای می‌باشد [۱، ۸، ۲۷، ۲۸، ۲۲، ۳۱، ۳۴]. کمر بند چین و راندگی زاگرس یک زون ترافشارشی (Transpression) است که در اثر برخورد مایل بین صفحه سنگ کره ای آفریقا-عربی و خرد قاره ایران مرکزی ایجاد شده است [۱۳، ۲۲، ۲۵، ۳۲]. بر اساس انباشته‌های نمکی سری هرمز، کمر بند چین و راندگی زاگرس به دو بخش جنوب خاوری، یا (حوضه هرمز) و بخش شمال باختری، یا

(حوضه اهواز) تقسیم شده که مرز جدایی این دو، بر خطواره قطر-کازرون منطبق است [۴]. منطقه مطالعاتی در پهنه ساختاری فروافتادگی دزفول واقع شده است. فروافتادگی دزفول (Dezful Embayment) یک منطقه ساختمانی در جنوب غربی کمربند چین و رانده شده زاگرس می‌باشد [۲۹]. در این منطقه سازند آهکی آسماری (مخزن اصلی نفت) فاقد رخنمون بوده و با افزایش ضخامت رسوبات ترشیری نسبت به ناحیه فارس و لرستان مشخص می‌شود [۲۹]. این منطقه با وسعت شصت هزار کیلومتر مربع در حدود ۸٪ از ذخایر هیدروکربنی کل دنیا را شامل می‌شود [۷]. شواهد زمین شناسی حاکی از آن است که این فروافتادگی بصورت یک واحد ساختاری مجزا بین سه پدیده مهم ساختاری قرار گرفته است. این فروافتادگی از شمال بوسیله منطقه گسلی و چپگرد بالارود (BFZ)، از شرق و شمال شرق بوسیله گسل اصلی پیشانی کوهستان (MFF) و از جنوب شرق بوسیله منطقه گسلی و راستگرد کازرون (KFZ) احاطه شده است (شکل الف). فروافتادگی دزفول نسبت به هر کدام از این عوامل ساختاری دارای فروافتادگی بین ۳۰۰۰ تا ۶۰۰۰ متر بوده و تقریباً از وسط بوسیله منطقه گسلی ایذه (IFZ)، با راستای شمالی-جنوبی به دو ناحیه شمالی و جنوبی تقسیم شده است. میدان نفتی سفید در فاصله ۶۵ کیلومتری شمال شرقی اهواز قرار دارد. این میدان نفتی یک میدان نفتی تاقدیسی بوده که بوسیله ساختارهای ناودیسی حاشیه‌ای از میادین نفتی هفتکل و مسجدسلیمان در شمال و میدان نفتی کوپال در جنوب متمایز شده است (شکل الف). تاقدیس نفت سفید از شمال به شهرستان شوشتر و از جنوب به شهرستان رامهرمز منتهی می‌شود. از لحاظ سنگ شناسی در امتداد این تاقدیس و در بخش‌های شمالی واحدهای ماسه سنگی آغاچاری و در بخش‌های جنوبی مارن و مارن‌های آهکی سازند میشان و مارن و گچ‌های سازند گچساران برونزد دارند (شکل ب).

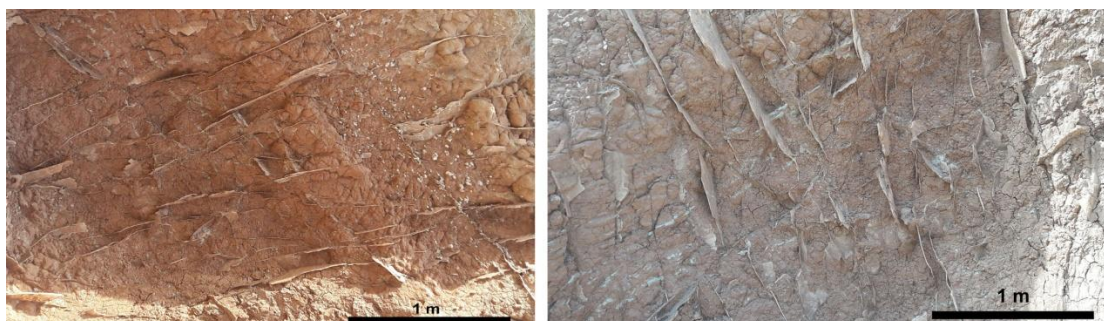


شکل ۱- الف) جایگاه میدان نفت سفید در فروافتادگی دزفول، ب) نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه و ج) نیمرخ زمین شناسی در راستای خط AB. نقاط ۱ تا ۸ محدوده برداشت داده‌های هندسی رگه‌های ژیبسی را نشان می‌دهند.

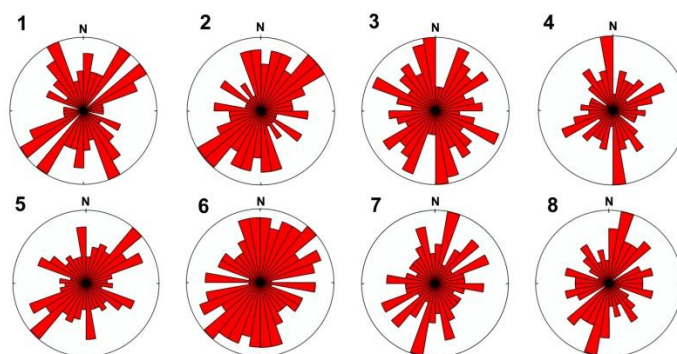
۴- بحث

۴-۱- تعیین راستای محورهای تنش

همان گونه که اشاره گردید توسعه فراوان رگه‌های ژئوپسی یکی از سیماهای بارز ساختاری در این منطقه می‌باشد (شکل ۲). به منظور تعیین راستای محورهای تنش، داده‌های مربوط به مشخصات هندسی رگه‌های ژئوپسی در هشت ایستگاه در بخش‌های مختلف تاکدیس نفت سفید جمع‌آوری شد. شکل ۳ نمودارهای گل سرخی امتداد رگه‌های ژئوپسی در بخش‌های مختلف را نشان می‌دهد. همان گونه که مشخص است رگه‌های ژئوپسی دارای محدوده وسیعی از پراکندگی در امتدادهای مختلف می‌باشند. ارتباط ساختاری معنا داری بین پراکندگی هندسی رگه‌های ژئوپسی و سطوح لایه بندی در منطقه مشاهده نمی‌شود. به گونه‌ای که رگه‌های ژئوپسی در راستاهای متفاوت سطوح لایه بندی را قطع می‌کنند.



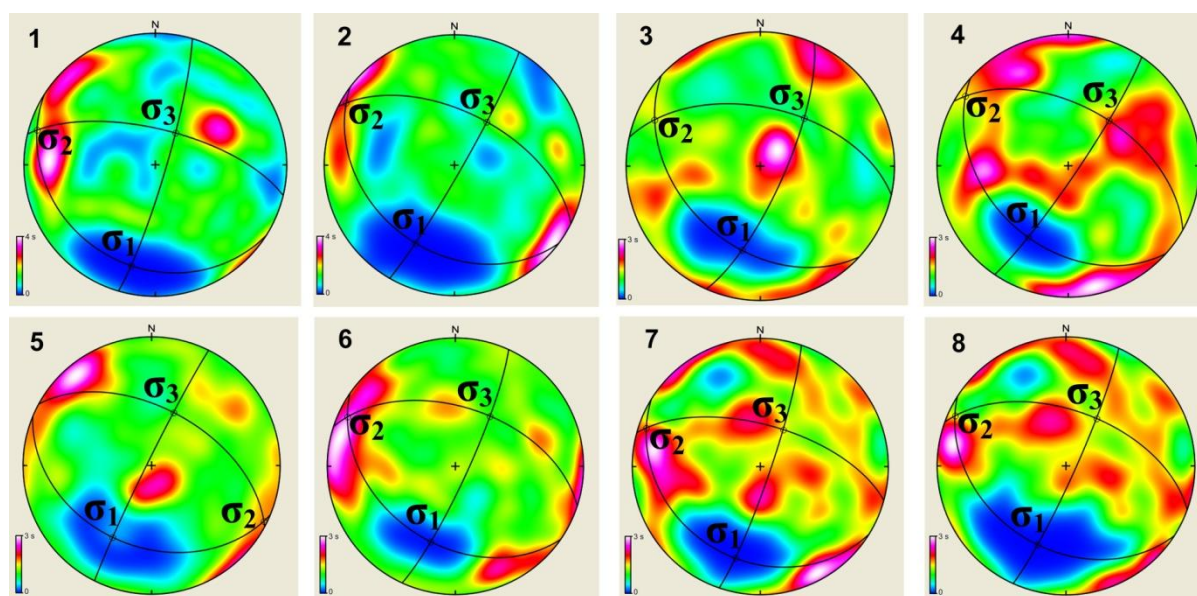
شکل ۲- نمایی از توسعه رگه‌های ژئوپسی در منطقه



شکل ۳- نمودارهای گل سرخی امتداد رگه‌های ژئوپسی (شماره نمودارها با موقعیت برداشت داده‌ها در شکل ۱ منطبق است)

همانگونه که اشاره گردید الگوی پراکندگی رگه‌ها شدیداً تحت تاثیر مقادیر فشار منفذی بوده و در فشارهای منفذی بالا عموماً رگه‌ها دارای پراکندگی فراوانی می‌باشند در حالیکه پراکندگی محدود رگه‌ها حاکی از مقادیر پایین فشار منفذی می‌باشد. در تحلیل استریوگرافی رگه‌ها در حالتی که قطب رگه‌ها دارای توزیع پراکنده باشد یک فضای خالی بیضی شکل قابل تشخیص خواهد بود که مرکز آن نشان دهنده موقعیت σ_1 می‌باشد [۳، ۱۲]. این الگوی قطب رگه‌ها به یافتن موقعیت صفحات اصلی σ_1 ، σ_2 ، σ_3 کمک خواهد نمود. به گونه‌ای که کمان گذرا از محور کوچک فضای فاقد داده‌ها در بر

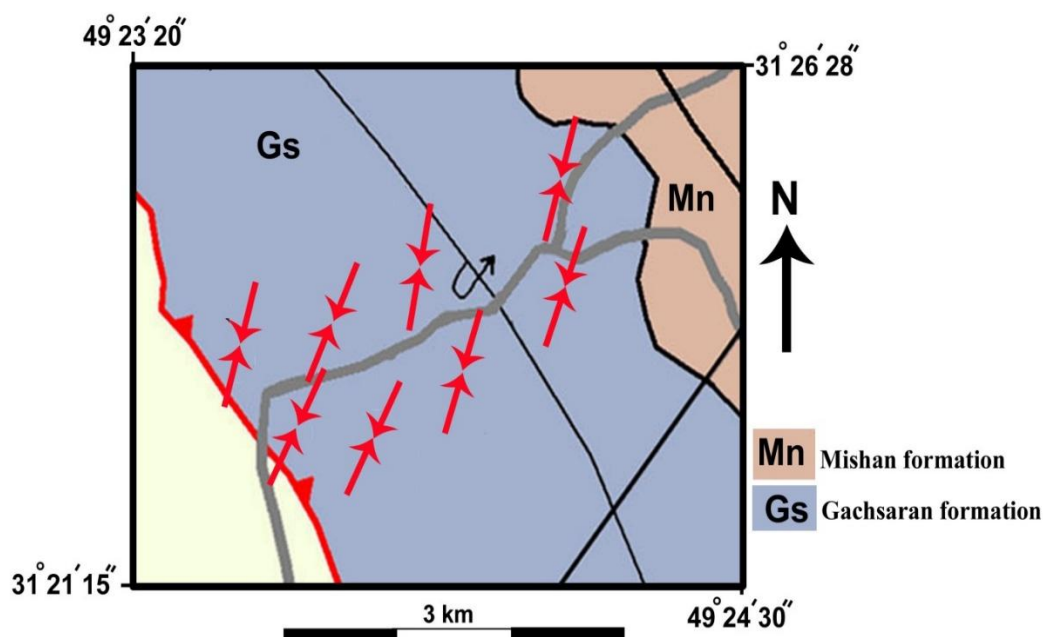
گیرنده محورهای σ_1 و σ_3 بوده و بهترین کمان گذرا از محور بزرگ این فضا محورهای σ_1 و σ_2 را شامل می شود [۳، ۱۲]. در حالت توزیع قطب رگه‌ها با الگوی محدود مرکز بیضی پوشش دهنده قطب رگه‌ها موقعیت σ_3 را ارائه می دهد و براساس آن می توان موقعیت صفحات اصلی تنش ($\sigma_1\sigma_3$ و $\sigma_2\sigma_3$) را تعیین نمود [۳، ۱۲]. در محدوده مورد مطالعه توزیع قطب رگه‌های ژیبسی بطور غالب نشان دهنده یک الگوی پراکنده بوده و محدوده وسیعی از جهت یابی رگه‌های ژیبسی را نشان می دهد. شکل ۴ تحلیل استریوگرافی قطب رگه‌های ژیبسی در محدوده مطالعاتی را نشان می دهد. همچنین در جدول ۱ مقادیر راستا و شیب مربوط به موقعیت محورهای تنش ارائه شده است. مقادیر θ در این جدول زوایای اندازه گیری شده بر روی سطوح اصلی تنش را نشان می دهد که معیاری از میانگین جهت گیری رگه‌ها نسبت به محورهای تنش می باشند. شکل ۵ راستای محور تنش اصلی حداکثر را بر روی نقشه نشان می دهد.



شکل ۴- تحلیل استریوگرافی قطب رگه‌های ژیبسی و موقعیت محورهای تنش حداکثر، حداقل و میانگین (شماره نمودارها با موقعیت برداشت داده‌ها در شکل ۱ منطبق است)

جدول ۱- مقادیر امتداد و میل محورهای اصلی تنش و زاویه θ در ایستگاه های مختلف

	σ_1	σ_2	σ_3	θ_2	θ_3
Station 1	194/22	286/7	32/67	25	46
Station 2	207/34	300/5	37/56	30	45
Station 3	192/36	294/15	42/50	23	40
Station 4	209/38	304/6	42/52	25	38
Station 5	209/37	116/3	22/53	25	40
Station 6	198/38	295/8	35/51	24	35
Station 7	195/27	289/7	32/62	25	38
Station 8	200/35	294/6	33/54	31	47



شکل ۵- راستای محورهای تنش اصلی حداکثر در ایستگاه‌های مختلف

۲-۴- برآورد مقادیر نسبی تنش و فشار منفذی

در مباحث زمین شناسی، اندازه‌گیری مقادیر مطلق پارامترهایی همچون تنش و واتنش بسیار دشوار و هزینه بر بوده و استفاده از ابزارآلات مهندسی و گران قیمت در اینگونه مطالعات امری اجتناب ناپذیر می باشد. بعلاوه اکثر روشهای دستگاهی، قادر به اندازه گیری مقادیر تنش و واتنش در شرایط کنونی پوسته زمین بوده و در تعیین مقادیر دیرینه این پارامترها راهگشا نمی‌باشند [۲۴].

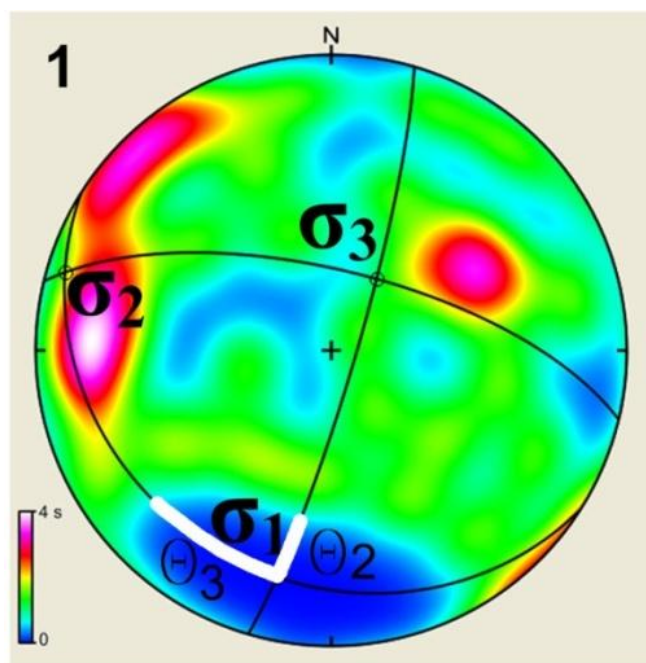
در شرایط تنش سه بعدی وضعیت فشار منفذی و شکل بیضوی تنش را می توان بوسیله معادلات زیر ارائه داد [۱۷].

$$R' = \frac{p_f - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} \quad \text{رابطه ۱:}$$

$$\phi = \frac{\sigma_2 - \sigma_3}{\sigma_1 - \sigma_3} \quad \text{رابطه ۲:}$$

در این رابطه P_f فشار منفذی، R' نسبت فشار محرک و بیان کننده مقدار فشار منفذی نسبت به تنش های اصلی حداکثر و حداقل بوده و ϕ نسبت تنش (معیاری از شکل بیضوی تنش) می باشد.

رگه‌ها تنها می‌توانند در شرایط $R' > 0$ تشکیل یا دچار فعالیت مجدد شوند. اگر $Pf = \sigma_3$ باشد، $R' = 0$ خواهد شد و در این حالت هیچ رگه‌ای تشکیل نمی‌شود و یا رگه‌های پیشین دچار فعالیت مجدد نخواهند شد. اگر $Pf = \sigma_1$ باشد، $R' = 1$ خواهد شد و نشان می‌دهد که رگه‌ها در جهات زیادی شکل خواهند گرفت و رگه‌های پیشین با جهت یافتگی‌های مختلف دچار تجدید فعالیت خواهند شد [۱۲]. در الگوی پراکندگی قطب رگه‌ها دو اصل وجود دارد: ۱) توزیع محدود قطب رگه‌ها نشان دهنده جهت یابی نسبتاً مشابه آنها بوده و نشان می‌دهد که رگه‌ها با محدوده جهت یابی محدودی شکل خواهند گرفت و یا رگه‌ها و شکستگی‌های پیشین با جهت یابی‌های اندک و محدودی تحت تأثیر فازهای سیال قرار خواهند گرفت. در این حالت تنش σ_2 بزرگتر از فشار منفذی می‌باشد ($Pf < \sigma_2$). ۲) درحالتی که $Pf > \sigma_2$ باشد توزیع قطب رگه‌ها دارای الگوی پراکنده بوده و نشان می‌دهد که رگه‌ها با دامنه وسیعی از جهت یافتگی تشکیل می‌شوند و یا دامنه وسیعی از رگه‌های پیشین تحت تأثیر عملکرد فاز سیال قرار خواهند گرفت. در تحلیل استریوگرافی قطب رگه‌ها و شکستگی‌ها علاوه بر تشخیص راستای محورهای اصلی تنش می‌توان به مقادیر زاویه θ نیز دست یافت [۳، ۱۲]. مقادیر زاویه θ بر روی سطوح اصلی تنش اندازه‌گیری می‌شوند و معیاری از میانگین جهت‌گیری رگه‌ها نسبت به محورهای تنش می‌باشند. شکل ۶ اندازه‌گیری مقادیر زاویه θ_2 و θ_3 بر روی سطوح اصلی تنش در ایستگاه ۱ را نشان می‌دهد. مقادیر زاویه θ ترسیم دایره مور و تعیین مقادیر نسبی تنش‌های اصلی و فشار منفذی را امکان‌پذیر می‌نماید. جدول ۱ نشان دهنده مقادیر زوایای θ_2 و θ_3 برآورد شده بر روی سطوح اصلی تنش در ایستگاه‌های مختلف می‌باشد.



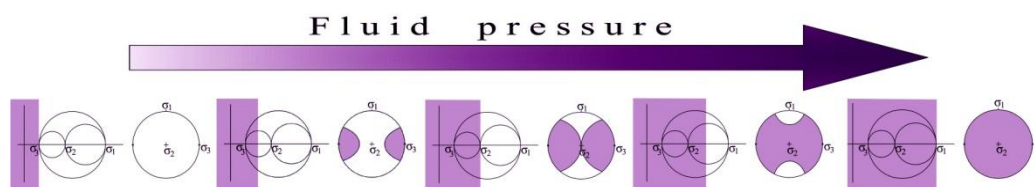
شکل ۶- اندازه‌گیری مقادیر زاویه θ_2 و θ_3 بر روی سطوح اصلی تنش

همچنین با استفاده از رابطه ۳ و مقادیر زاویه θ_2 می توان مقادیر نسبت فشار محرک (R') را تعیین نمود [۱۷].

رابطه ۳:

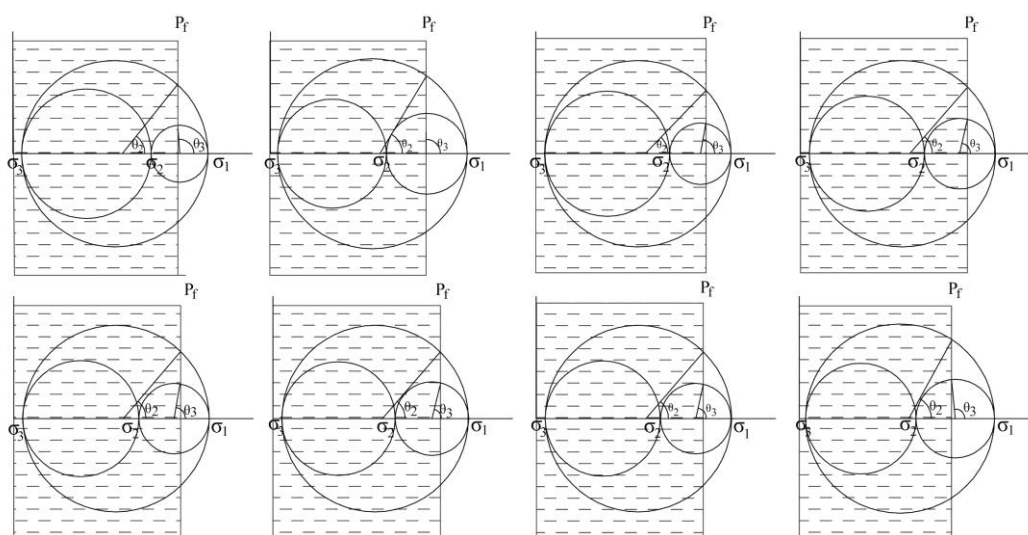
$$R' = \frac{1 + \cos 2\theta_2}{2}$$

معادله فوق در حالت توزیع پراکنده قطب رگهها ($Pf > \sigma_2$) مورد استفاده قرار می گیرد. شکل ۷ محدوده ای از جهت یابی های مختلف رگهها که با افزایش فشار منفذی امکان شکل گیری خواهند داشت را نشان می دهد.



شکل ۷- افزایش تدریجی فشار منفذی و تغییر در الگوی پراکندگی قطب رگهها (از الگوی محدود به الگوی پراکنده). بخش های رنگی در استریوگراف ها، الگوی توزیع قطب رگهها را نشان می دهد [۱۲].

با استفاده از مقادیر حاصل از زاویه θ_2 مقادیر نسبت فشار محرک (R') محاسبه گردید (جدول ۲). با فرض ثابت بودن مقدار تنش های تفاضلی ($\sigma_1 - \sigma_3$) و با ترسیم محورهای افقی و عمودی با مقیاس مشخص و با استفاده از مقادیر زوایای θ_2 و θ_3 نمودار مور مربوط به مقادیر نسبی تنش های اصلی و مقادیر فشار منفذی تعیین گردید (شکل ۸ و جدول ۲).



شکل ۸- تحلیل سه بعدی نمودار مور و برآورد مقادیر نسبی تنشهای اصلی و فشار منفذی

جدول ۲- مقادیر نسبی تنش های اصلی، فشار محرک و فشار منفذی

	σ_1	σ_2	σ_3	R'	Pf
Station 1	5395	3825	246	0.82	4468
Station 2	5395	3206	246	0.75	4107
Station 3	5395	3701	246	0.84	4571
Station 4	5395	3426	246	0.82	4468
Station 5	5395	3452	246	0.82	4468
Station 6	5395	3377	246	0.83	4365
Station 7	5395	3419	246	0.82	4468
Station 8	5395	3224	246	0.73	4004

براساس رابطه ۲ مقدار پارامتر نسبت تنش ($\emptyset$) معادل با 0.81 محاسبه گردید. دامنه تغییرات نسبت تنش بین صفر و یک بوده ($0 \leq \emptyset \leq 1$) و مقدار $\emptyset=0$ نشان دهنده شرایط بیضوی تنش کشیده (Prolate) و $\emptyset=1$ نشان دهنده شرایط بیضوی تنش فشرده یا پخ (Oblate) می باشد [۱۱]. با توجه به مقدار حاصله ($\emptyset = 0.81$) می توان چنین استنباط نمود که ماهیت بیضوی تنش در زمان تشکیل رگه های ژئوسی نشان دهنده شرایط بیضوی تنش فشرده سه محوری (Three axial oblate shape) بوده است.

۵- نتیجه گیری

مطالعات انجام شده بر روی رگه های ژئوسی در واحدهای سنگی سازند گچساران در تاق دیس نفت سفید نشان می دهد که توسعه و پراکندگی این رگه ها رابطه مستقیم با میدان تنش و فشار منفذی در زمان تشکیل آنها دارد. تحلیل های استریوگرافی و ترسیمی حاکی از آن است که قطب رگه های ژئوسی در اغلب ایستگاه های مورد بررسی دارای الگوی پراکندگی گسترده هستند که بیانگر غلبه فشار منفذی نسبت به تنش میانگین ($\sigma_2 < Pf$) در زمان تشکیل رگه ها است. این وضعیت بیانگر شرایطی است که در آن سیالات توانسته اند در راستاهای متنوعی موجب شکست و بازشدگی سنگ میزبان شوند. نتایج حاصل از تحلیل هندسی رگه ها و تعیین راستای محوره های اصلی تنش ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) نشان می دهد که محور تنش بیشینه (σ_1) دارای راستایی تقریباً شمال باختری - جنوب خاوری است که با جهت گیری عمومی نیروهای فشاری در کمربند چین خورده و رانده زاگرس همخوانی دارد. این امر بیانگر تأثیر مستقیم رژیم فشارشی زاگرس در کنترل الگوهای شکستگی و رگه زایی در منطقه است. مقادیر محاسبه شده نسبت فشار محرک (R') در بازه ۰.۷۳ تا ۰.۸۴ و فشار منفذی در حدود ۴۰۰۴ تا ۴۵۷۱ واحد نشان دهنده تأثیر قابل توجه فشار سیالات در فرآیند شکستگی و نفوذپذیری سنگ های گچی سازند گچساران است. مقدار نسبت تنش ($\emptyset = 0.81$) نیز ماهیت بیضوی فشرده (Oblate) میدان تنش را مشخص می کند که نشان دهنده شرایط تنش فشاری سه محوری (Three axial oblate shape) در زمان تشکیل رگه های ژئوسی می باشد.

از داوران مقاله آقای دکتر بهمن سلیمانی (هیات علمی دانشگاه شهید چمران اهواز) و خانم دکتر سعیده کشاورز (هیات علمی دانشگاه تحصیلات تکمیلی کرمان) و آقای دکتر شهریار صادقی (هیات علمی دانشگاه بین المللی امام خمینی) تشکر و قدردانی می‌گردد.

منابع

- [1] ALAVI, M., 2007. Structures of the zagros fold-thrust belt in Iran. *American Journal of Science*, **307**: 1064–1095.
- [2] ANGELIER, J., 1984. Tectonic analysis of fault slip data sets. *Journal of Geophysics Researches*, **89**: 5835–5848.
- [3] BEAR, G., BEYTH, M., RECHES, Z., 1994. Dike emplaced into fractured basement, Timna Igneous Complex, Israel. *Journal of Geophysics Researches*, **99**: 24039–24051.
- [4] BERBERIAN, M., 1995. Master ‘blind’ thrust faults hidden under the Zagros folds: active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics*, **241**: 193–224.
- [5] BERBERIAN, M., KING, G.C.P., 1981. Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran. *Canadian Journal of Earth Sciences*, **18**: 210–265.
- [6] BLANCE, E.J.P., ALLEN, M.B., INGER, S., HASSANI, H., 2003. Structural styles in the Zagros Simple Folded Zone, Iran. *Journal of the Geological Society*, **160**: 401–412. doi:10.1144/0016-764902-110.
- [7] BORDENAVE, M. L., HEGRE, J. A., 2005. The influence of tectonics on the entrapment of oil in the Dezful Embayment, Zagros Foldbelt, Iran. *Journal of Petroleum Geology*, **28(4)**: 339–368.
- [8] FAGHIIH, A., DEHGHAN M., SOBHANI S.S., 2023. Study of deformation pattern and kinematic characteristics in the Gelmandeh metamorphic complex, Saghand region, Central Iran. *Advanced Applied Geology*, **12(4)**: 617–634.
- [9] FALCON, N.L., 1974. Problems of the relationship between surface structures and deep displacements illustrated by the Zagros range. *Geological Society of London. Special Publication*, **3**: 9–22.
- [10] FERGOSSON, C., NUTMAN, A., MOHAJJEL, M., BENNETT, V.C., 2016. The Sanandaj–Sirjan Zone in the Neo-Tethyan suture, western Iran: Zircon U–Pb evidence of late Paleozoic rifting of northern Gondwana and mid-Jurassic orogenesis. *Gondwana Research*, **58**: 216–238.
- [11] FOSSEN, H., 2016. Structural geology (2nd ed.). Cambridge University Press
- [12] JOLLY, R.J.H., SANDERSON, D.J., 1997. A Mohr circle reconstruction for the opening of a pre-existing fracture. *Journal of Structural Geology*, **19**: 887–892.
- [13] KESHAVARZ, S., FAGHIIH, A., ASADI, S., SOLEIMANI, M., ZAREI, S., 2024. PT conditions of deformation of the Gol-e-Gohar shear zone, SW Iran: Insights from analysis of quartz c-axis fabrics, recrystallization mechanisms and syndeformational fluid inclusions. *Journal of Asian Earth Sciences*, **262**: 106010.
- [14] KRUHL, J.H., 1998. Reply: prism- and basal-plane parallel subgrain boundaries in quartz: a microstructural geothermobarometer. *Journal of Metamorphic Geology*, **16**: 142–146.

- [15] LAW, R.D., 1990. Crystallographic fabrics. A selective review of their applications to research in structural geology. In: Knipe, R.J., Rutter, E.H. (Eds.), Deformation Mechanisms, Rheology and Tectonics. *Geological Society of London, Special Publication*, **54**: 335–52.
- [16] LAW, R.D., SEARLE, M.P., SIMPSON, R.L., 2004. Strain, deformation temperatures and vorticity of flow at the top of the Greater Himalayan Slab, Everest Massif. Tibet. *Journal of Geological Society, London*, **161**: 305–320.
- [17] MCKEAGNEY, C.J., BOULTER, C.A., JOLLY, R.J.H., FOSTER, R.P., 2004. 3D Mohr Circle analysis of vein opening, Indrama lode-gold deposit, Zimbabwe: implication for exploration. *Journal of Structural Geology*, **26**: 1275–1291.
- [18] MCQUARRIE, N., 2004. Crustal scale geometry of the Zagros fold–thrust belt, Iran. *Journal of Structural Geology*, **26**: 519–535.
- [19] MOHAJJEL, M., FERGUSSON, C.L., 2000. Dextral transpression in Late Cretaceous continental collision, Sanandaj–Sirjan Zone, western Iran. *Journal of Structural Geology*, **22**: 1125–1139.
- [20] NÜCHTER, J.A., STÖCKHERT, B., 2008. Coupled stress and pore fluid pressure changes in the middle crust: Vein record of coseismic loading and postseismic stress relaxation. *Tectonics*, **27**: 1–23.
- [21] OTSUBO, M., MIYAKAWA, A., KAWASAKI, R., SATO, K., YAMAGUCHI, A., KIMURA, A., 2016. Variations in stress and driving pore fluid pressure ratio using vein orientations along megasplay faults: Example from the Nobeoka Thrust, Southwest Japan. *Island Arc*, **25**: 421–432.
- [22] SADEGHI, S., YASSAGHI, A., 2016. Spatial evolution of Zagros collision zone in Kurdistan, NW Iran: Constraints on Arabia–Eurasia oblique convergence. *Solid Earth*, **7**: 659–672. doi:10.5194/se-7-659-2016.
- [23] SAEDI, G., SOLEIMANI, B., SAMANI, B., ARZANI, A., 2022. The interaction between faults and in-situ stress on the kinematic and subsurface natural fracture of Aghajari oilfield in southwest of Iran. *Journal of Petroleum Science and Engineering*, **208**: 109567.
- [24] SAMANI, B., 2017. Deformation flow analysis and symmetry of Goushti shear zone, Sanandaj–Sirjan metamorphic belt, Iran. *Geopersia*, **7**: 117–130.
- [25] SARKARINEJAD, K., AZIZI, A., 2008. Slip partitioning and inclined dextral transpression along the Zagros Thrust System, Iran. *Journal of Structural Geology*, **30**: 116–136.
- [26] SARKARINEJAD, K., KESHAVARZ, S., FAFGIH, A., SAMANI, B., 2017. Kinematic analysis of rock flow and deformation temperature of the Sirjan thrust sheet, Zagros Orogen, Iran. *Geological Magazine*, **154**: 147–165.
- [27] SCHWARZHANS, W., Bosold, A., JULAPOUR, A., ASHRAFZADEH, A.R., EHSANI, S.M., 2025. The structural geology of the High Central Zagros revisited (Iran) Available to Purchase. *Petroleum Geoscience*, **11 (3)**: 225–238.
- [28] SEMBRONI, A., Riccardo REITANO, A., FACCENNA, C., CALLIERI, P., 2024. The geologic configuration of the Zagros Fold and Thrust Belt: an overview. *Mediterranean Geoscience Reviews*, **6**: 61–86.
- [29] SEPEHR, M., COSGROVE, J., MOINEI, M., 2006. The impact of cover rock rheology on the style of folding in the Zagros fold–thrust belt. *Tectonophysics*, **427(1-4)**: 265–281.
- [30] STOCKLIN, J., 1968. Structural history and tectonics of Iran, a review, *A. A. P. G. Bull.*, **52(7)**: 1229–1258.

- [31] TAKIN, M., 1972. Iranian geology and continental drift in the Middle East. *Nature*, **235**: 147-150.
- [32] TALEBIAN, M., JACKSON, J., 2004. A reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros mountains of Iran. *Geophysics*, **156**: 506–526.
- [33] WILSON, C.J.L., ROBINSON, J.A., DUGDALE, A.L., 2008. Quartz vein fabrics coupled to elevated fluid pressures in the Stawell gold deposit, south-eastern Australia. *Mineralium Deposita*, **44(2)**:245-263.
- [34] ZAMANI, B.G, 2023. Geodynamics and tectonic stress model for the Zagros fold–thrust belt and classification of tectonic stress regimes. *Marine and Petroleum Geology*, **155**: 1-17.

Stress field and pore pressure analyses using geometric investigation of gypsum veins in the Naft Sefid oil field anticline, SW Iran

Babak Samani*

Associate professor, Faculty of Earth science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

*b.samani@scu.ac.ir

Received: October 2025, Accepted: January 2026

Abstract

In this study, gypsum veins occurring within the Gachsaran Formation of the Naft Sefid Anticline were employed as structural indicators to determine the orientation of the principal stress axes and to estimate the relative magnitudes of the principal stresses and pore pressure. For this purpose, Stereographic analysis of the veins pole data and Mohr diagram construction were performed. The results indicate that the wide dispersion of gypsum vein poles reflects the dominance of pore pressure over the mean stress ($P_f > \sigma_2$) during vein formation. Structural analysis revealed that the maximum principal stress axis (σ_1) trends northwest–southeast, consistent with the general compressional regime of the Zagros fold-and-thrust belt. The calculated driving pressure ratio (R') ranges between 0.73 and 0.84, and pore pressure values vary from 4004 to 4571 units. The stress ratio ($\Phi = 0.81$) indicating three axial oblate shape of stress ellipsoid during the development of gypsum veins. These results highlight the significant influence of stress field orientation and fluid pressure on vein development within the Gachsaran Formation.

Keywords: Gypsum veins, Pore pressure, Stress field, Naft Sefid Anticline, Gachsaran Formation, Zagros.