



فصلنامه زمین ساخت
تابستان ۱۳۹۷، سال دوم، شماره ۶

تحلیل توسعه شکستگی‌ها وابسته به چین خوردگی و تعیین جهت تنش‌های برجا در
سازند سروک در یکی از میادین نفتی غرب

محسن شورا^{۱*}، مهدی یوسفی^۲، سید مرتضی موسوی^۳

۱ شرکت مهندسی و توسعه سروک آذر (SAED).

۲ دکترای زمین شناسی ساختمانی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند. شرکت مهندسی و توسعه سروک آذر (SAED).

۳ گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند.



تاریخ دریافت: ۹۶/۲۸/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۱/۱۸

چکیده

تحلیل مقاطع لرزه‌ای عمود بر محور چین و ترسیم دوایر محاطی بر روی این مقاطع نشانگر خمش بیشتر در یال جلویی به علت فرازگیری بیشتر واحدهای رسوبی در اثر عملکرد فشارش و حرکت گسل‌های راندگی می‌باشد که باعث توسعه و تراکم شکستگی در یال جنوب غربی شده است. افزایش هرزروی گل حفاری در چاه‌های یال جلویی تاقدیس در ارتباط با گسترش شکستگی‌های کششی و طولی وابسته به افزایش کوتاه شدگی و برخاستگی تاقدیس، انتشار گسل‌های راندگی و تشکیل ساختارهای دوپلکسی در مجاورت این چاه‌ها می‌باشد. جهات تنش بیشینه و کمینه در چاه شماره ۲ واقع در بخش میانی تاقدیس به ترتیب N50 و N140 می‌باشد. تنش بیشینه برجا در بخش میانی میدان متاثر از چین خوردگی نئوژن زاگرس می‌باشد. در بخش شرقی تاقدیس، جهت شکستگی کششی - القایی و یا جهت تنش بیشینه برجا منحرف شده و راستای N۳۰E را نشان می‌دهد. ریختگی‌ها و یا جهت تنش کمینه برجا در راستای عمود بر راستای شکستگی‌های کششی بوده و دارای روند N120 هستند. نقشه‌های هم عمق زیرسطحی نشان می‌دهند که در بخش جنوب شرقی این تاقدیس کانتورها منحرف شده و نسبت به تاقدیس مجاور جابجایی چپگرد را نشان می‌دهد. هرزروی بسیار زیاد گل حفاری چاه شماره ۴ (پلانژ جنوب شرقی چین) به دلیل واقع شدن این چاه در کمترین فاصله از خط اثر گسل امتداد لغز بین دو تاقدیس و قرار گرفتن در منطقه تمرکز تنش ناشی از برهم کنش توام خطواره‌های گسلی شمال غربی وابسته به چین خوردگی و شمال شرقی به دلیل عملکرد فعالیت گسل امتداد لغز چپگرد متعاقب رویدادهای چین خوردگی نئوژن در زاگرس می‌باشد.

کلید واژه‌ها: شکستگی، تنش‌های برجا، چین خوردگی، نمودارهای تصویرگر.



۱- مقدمه

شکستگی‌ها از مهم‌ترین مسیرهای جریان سیال در مخازن کربناتی هستند. مخازن کربناتی ایران از نظر موجودیت به عنوان مخازن دارای شکستگی‌های طبیعی و گسترده در دنیا شناخته شده‌اند و حتی بعضی از مولفین طبقه خاصی از تقسیمات کلاسیک مخازن را به مخازن ایران اختصاص داده‌اند. این شکستگی‌ها عمدتاً منشأ ساختمانی داشته و در طی فازهای فشاری مربوط به کوهزایی آلپ پایانی همزمان با حرکت افقی پوسته قاره‌ای عربستان در امتداد روند کوتاه شدگی پوسته و چین خوردگی رسوبات این حوضه به وجود آمده‌اند. در مخازن کربناته، بررسی و مطالعه شکستگی‌ها اساساً از این نظر حائز اهمیت است که شکستگی‌ها تأثیر مهمی در مقدار تخلخل و تراوایی سنگ‌ها داشته و حرکت سیالات را تسهیل یا تاخیر می‌کنند. در رابطه با اهمیت شکستگی‌ها می‌توان به نقش مؤثر آنها در افزایش تخلخل، نفوذپذیری و در نتیجه تولید بالای نفت در مخازن کربناتی ایران اشاره کرد. مطالعه و بررسی شکستگی‌ها و شناخت موقعیت و چگونگی گسترش آنها در سرتاسر مخزن، می‌تواند به طرح گسترش میدان، تعیین محل‌های مناسب برای حفر چاه‌های جدید، افزایش طول عمر و بهره‌دهی مناسب مخزن، کاهش هزینه‌های پی‌جویی و درک کلی ما از سامانه شکستگی در میداین نفتی، کمک قابل توجهی کند. سنگ‌های قرار گرفته در اعماق زمین تحت تنش برجا با مقدار بسیار بالا حتی چندین برابر مقاومت فشاری تک‌محوری خود قرار دارند. با انجام حفاری، توزیع و همچنین مقدار تنش برجا از حالت اولیه تغییر می‌کند و در اطراف چاه دچار اغتشاش خواهد شد (Jaeger and Cook, 1979). این بهم‌ریختگی تنش در دیواره چاه، سبب بروز مشکلاتی همچون ناپایداری دیواره چاه، تنگ‌شدگی چاه، ایجاد شکستگی‌های کششی-القایی و خردشدگی در دیواره چاه و حرکت خزشی لایه‌های نمکی به سمت چاه خواهد شد. به همین علت، داشتن اطلاعات کافی از مقدار و جهت تنش در حین و پس از عملیات حفاری، به خصوص در مناطقی که تمرکز تنش بسیار بالاست، ضروری می‌باشد. از مزایای دانستن و تعیین تنش برجا قبل و بعد از حفاری می‌توان به تعیین فشار بهینه گل، انتخاب بهترین مسیر حفاری جهت دار به منظور کاهش ریسک و هزینه‌های نگهداری چاه، بررسی پدیده مچاله شدن و برش لوله‌های جداری، پایداری دیواره چاه و طراحی مته

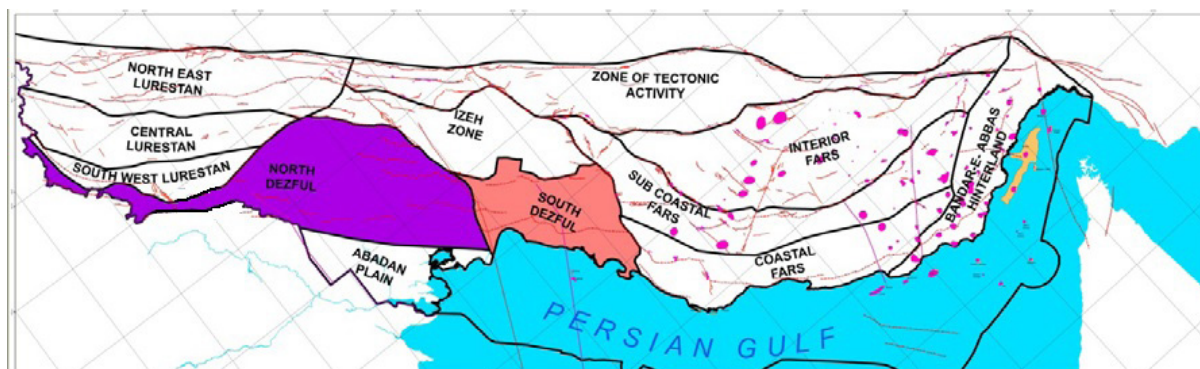
مناسب به منظور حفاری چاه‌های بعدی، انتخاب لوله‌های جداری مناسب، جلوگیری از تولید ماسه و ریزش دیواره چاه، انتخاب استراتژی مناسب جهت تکمیل چاه و همچنین میزان برداشت مخزن اشاره داشت (مهدور و همکاران، ۱۳۹۴). شکستگی‌های کششی-القایی و خردشدگی‌ها هر دو نشانه‌هایی از ناپایداری در دیواره چاه می‌باشد (Bell and Gough, 1979). با بررسی شکستگی‌های کششی-القایی و خردشدگی می‌توان جهت و مقدار تنش‌های افقی حداقل و افقی حداکثر را تعیین کرد. در این پژوهش، تحلیلی از توسعه شکستگی‌ها، شناسایی مکان‌هایی با تراکم بالای شکستگی و ارتباط آن با چین خوردگی در منطقه با استفاده از روش‌های مختلف ارائه می‌شود و همچنین ناپایداری دیواره جهت تعیین جهت تنش‌های تکتونیکی با استفاده از نمودارهای تصویرگر مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۲- زمین‌شناسی و موقعیت زمین ساختی منطقه مورد مطالعه

کمر بند کوهزایی زاگرس در حاشیه شمال شرقی ورق عربی با راستای شمال غرب- جنوب شرق از ترکیه تا تنگه هرمز بطول بالغ بر ۲۰۰۰ کیلومتر گسترش یافته است. راستاهای غالب ساختمانی در این کوهزاد به دو بخش قابل تقسیم است. دسته اول ساختمان‌های شمالی جنوبی که قدیمی‌تر بوده و در ارتباط یا گسل‌های پی‌سنگی می‌باشند و دسته دوم ساختمان‌های شمال غرب- جنوب شرقی که در ارتباط با چین خوردگی زاگرس (میوسن میانی) هستند و بر روی ساختمان‌های قدیمی‌تر شکل گرفته‌اند. سری ضخیم رسوبی در زاگرس (۶ تا ۱۳ کیلومتر) تاریخچه پیچیده تکتونیکی این منطقه را در خود حفظ نموده، که معرف تمام مراحل تکامل یک حوضه از فلات قاره غیر فعال تا ریف‌ت و نهایتاً؛ مراحل مختلف تغییر شکل در ارتباط با آبداکشن افولیتها و برخورد قاره‌ای است. گسل‌های پی‌سنگی از جمله عوامل ساختمانی در ورق عربی می‌باشند که رسوبات مزوزئیک را در شمال شرق ورق عربی و بخش مرکزی خلیج فارس تحت تاثیر قرار داده‌اند. تنوع استیل ساختمانی و فرم چین خوردگی از ویژگی‌های تاق‌دیس‌ها در زاگرس چین خورده می‌باشد که در ارتباط نزدیک با تغییرات رخساره رسوبی و اختلاف در واکنش مکانیکی آنها به دگر شکلی است. تغییرات رخساره‌های رسوبی و استیل ساختمانی زمین‌شناسان نفتی را بر آن داشت تا کمر بند چین خورده زاگرس را به واحدهای

که هم روند با چین خوردگی عمومی کوهزاد زاگرس می‌باشد. رخنمون سطحی این میدان، سازند آغاچاری بوده، و همچنین سازندهای گچساران، آسماری، گروه بنگستان در این میدان حفاری می‌شوند. در زیرپهنه دزفول شمالی، فعالیت سطوح جدایشی و شکل پذیر نسبت به دزفول جنوبی بیشتر است. بررسی نیمرخ‌های لرزه‌ای بیانگر عملکرد واحد‌های گچساران و کلهر به عنوان سطوح جدایش است که باعث شده هندسه ساختمان در افق‌های جوان تر از سازند گچساران با سازندهای قدیمیتر کاملاً متفاوت باشد. فعالیت جدایشی واحدهای تخییری کلهر در زیر سازند آسماری و گچساران باعث توسعه چین‌های نامنظم جدایشی و ناهماهنگی به شکل افزایش ضخامت در این افق‌های شکل پذیر در چاه‌های حفر شده در این میدان شده است.

کوچکتری و عمود بر راستای کمربند تقسیم بندی نمایند: نظیر فارس، لرستان، زون ایذه و فرو افتادگی دزفول. عمده میداین نفتی ایران در این کوهزاد و در پهنه فروبار دزفول قرار گرفته است. این زون با اختلاف ارتفاع توپوگرافیک قابل توجه نسبت به زون ایذه (بالغ بر ۳۰۰۰ متر) در جنوب غرب گسله جبهه کوهستان واقع گردیده است. حد غربی آن گسله بالارود و حد شرقی آن گسله کازرون می‌باشد. به سمت جنوب غرب رفته رفته از شدت چین خوردگی کاسته شده و ساختمان‌های شمال غرب - جنوب شرقی زاگرس جای خود را به ساختمان‌های قدیمی شمالی - جنوبی می‌دهند (Sherkati et al, 2006). منطقه مورد مطالعه از دیدگاه ساختاری در محدوده شمال غربی فروافتادگی دزفول و زیر پهنه دزفول شمالی قرار دارد (شکل ۱). تاقدیس مورد مطالعه از نوع نامتقارن و دارای امتداد شمال غرب - جنوب شرق می‌باشد



شکل ۱. موقعیت کمربند کوهزایی زاگرس. منطقه مورد مطالعه در دزفول شمالی قرار دارد که با رنگ بنفش نشان داده شده است.

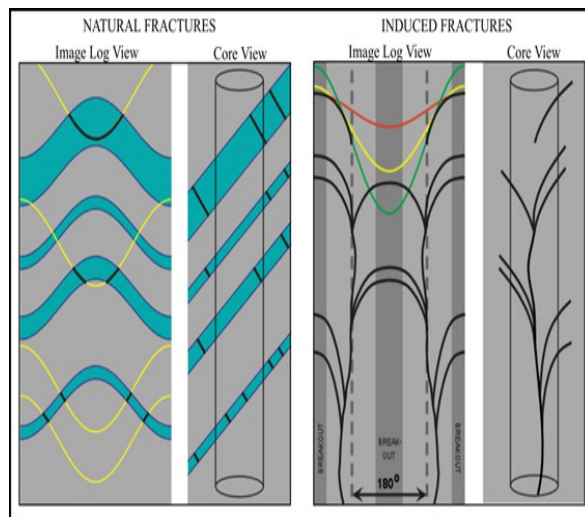
۳- روش کار

تصویرگر دارند که موجب اشتباه گرفتن آنها با یکدیگر می‌شوند. تنها راه مناسب برای تشخیص آنها از هم منطبق ساختن یک موج سینوسی بر روی یال‌های حاصل از شکستگی طبیعی است که در مورد شکستگی‌های پله‌ای این امر صدق نمی‌کند. شکستگی‌های طبیعی همیشه در دو سمت دیواره چاه حفاری شده اثر گذاشته و در نتیجه در تصاویر بصورت قرینه مشاهده می‌گردند. شکستگی‌های هیدرولیکی که در اثر فشار سیال حفاری بر سازند شکل می‌گیرند، معمولاً نامتقارن‌اند و بنابراین اثر سینوسی نیز ندارند (شکل ۲). مهم‌ترین علت پدیده ریزش دیواره چاه در مطالعات زمین‌شناسی ساختمانی زیرسطحی، جهت‌گیری میدان نسبت به تنش‌های کنونی می‌باشد. تنش‌هایی که بر دیواره چاه عمل می‌کنند، شامل فشار سیال در درون چاه به عنوان تنش شعاعی، تنش محوری، تنش مماسی و تنش‌های برشی (حد واسط تنش‌های محوری

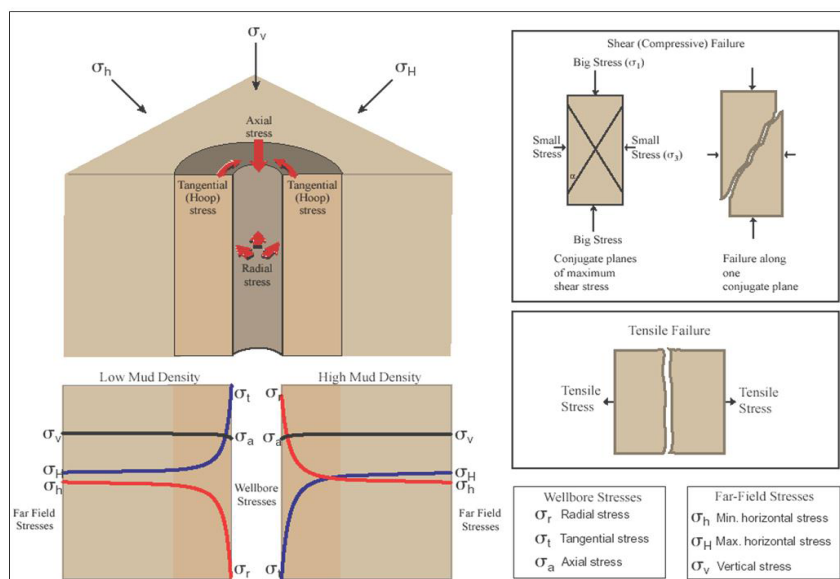
برای شناسایی و تشخیص شکستگی‌های طبیعی از شکستگی‌های ناشی از عملیات حفاری از پارامترهای تفسیر در نمودارگیری تصویری استفاده شده است. متمایز کردن شکستگی‌های طبیعی از شکستگی‌های ناشی از عملیات حفاری، امری بسیار مهم است. در تحلیل شکستگی‌های حاصل از عملیات حفاری این دسته از شکستگی‌ها به موازات تنش افقی حداکثر و به صورت عمودی می‌باشند. سطوح این دسته از شکستگی‌ها ناصاف و فاقد هرگونه عوارض حاصل از انحلال می‌باشد. این شکستگی‌ها در صورتی که محور چاه به موازات یکی از تنش‌های اصلی باشد حالت کاملاً عمودی و در غیر اینصورت حالت دندان‌دار به خود می‌گیرند که به شکستگی‌های پله‌ای معروف هستند. شکستگی‌های پله‌ای و شکستگی‌های طبیعی تصاویر مشابهی روی نمودارهای

و تحلیل ساختمانی الگوی شکستگی ها در مخازن پذیرفته شد. نمودارهای تصویری که نتیجه نهایی این ابزارها هستند وسیله ارزشمندی جهت تفسیر ساختمانی و رسوب شناسی داده های چاه می باشند. نتایج تفسیر تصاویر چاه بدون جداره، شناسایی کیفی و توصیف کمی لایه بندی، شکستگی ها، عوارض صفحه ای، سنگ شناسی و حفرات است. زمانی که مغزه در دسترس باشد عوارض شناسایی شده بر روی تصاویر حاصل از نمودار می توانند با آن تطابق داده شوند یا کالیبر گردند و در زمانی که مغزه موجود نباشد این تصاویر به عنوان یک جایگزین به کار می روند (شکل ۵).

و مماسی) می باشند (شکل ۳). یکی از مهم ترین منابع برای مطالعه خصوصیات مخازن زیر سطحی استفاده از نمودارهای تصویرگر می باشد، زیرا به دلایل مختلف بسیاری از چاه ها یا فاقد مغزه هستند یا مغزه آنها بدلیل بازیافت پائین چندان قابل مشاهده نمی باشند. علاوه بر این مغزه های گرفته شده غیر جهت دار هستند که قادر به تعیین جهت و امتداد سطوح لایه بندی، شکستگی ها و گسل های احتمالی نمی باشند. توصیف ساختمانی در ساختارهای بسیار پیچیده تنها با استفاده از داده های لرزه ای به علت سازندهای تغییر شکل یافته، چالش برانگیز است. از این رو تصاویر دیواره چاه به سرعت به عنوان مولفه ای با اهمیت فزاینده در تفسیر و تجزیه



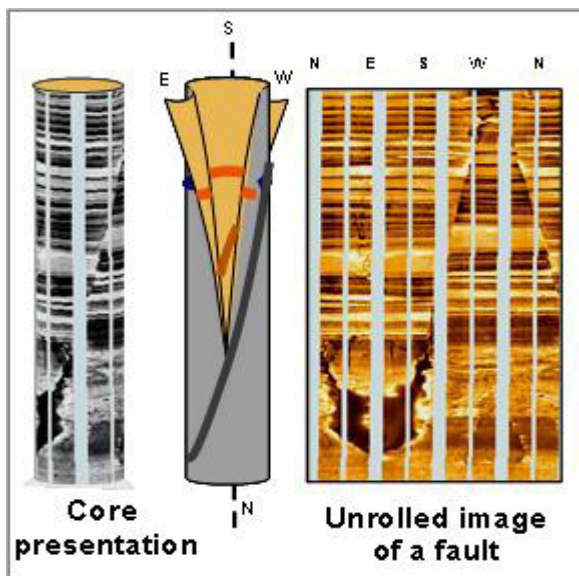
شکل ۲. تقارن و سینوسیته شکستگی طبیعی و تقارن و عدم سینوسیته شکستگی های القایی در نمودارهای تصویری و مغزه ها.



شکل ۳. نمایش مولفه های نیروهای وارده بر دیواره چاه در هنگام حفاری.

یک مولفه شیب دارند که به صورت منحنی سینوسی شکل تظاهر می‌یابند. دامنه این منحنی سینوسی تابعی از زاویه شیب است به شکلی که در یک چاه بدون انحراف، بزرگی شیب متناسب با دامنه سینوسی است و آزمون شیب نیز به سمت پائین ترین نقطه موج سینوسی شکل قرار می‌گیرد (شکل ۴).

نمایش دو بعدی تصاویر الکتریکی و صوتی دیواره چاه به شکل یک سیلندر باز شده می‌باشد که از شمال مغناطیسی (N) شکاف داده شده است. در این تصاویر عوارض صفحه‌ای (برای مثال مرزهای لایه‌بندی، گسل‌ها و شکستگی‌ها) که دیواره استوانه‌ای شکل چاه را با زاویه‌ای نسبت به افق قطع می‌کنند یعنی



شکل ۴. نمایش دو بعدی از روش محاسبه مقدار شیب شکستگی‌ها در چاه حفاری با استفاده از نمودارهای تصویری.

روش کار دایره محاطی شامل ترسیم مقاطع عرضی بصورت عمود بر محور چین خوردگی در نقشه‌های همتراز زیرزمینی^۱ می‌باشد. سپس دوایری مماس را بر نقاط عطف تاقدیس از محل سازندها در مقاطع ساختمانی ترسیم می‌گردد. تفاوت در میزان جدایش شعاعی بین دایره محاطی و رأس سازندها، بیانگر میزان تغییرات در خمیدگی ساختار است و محل‌هایی که بیشینه جدایش را داشته باشند به عنوان مناطق که دارای حداکثر خمیدگی و در نتیجه بالاترین پتانسیل شکستگی هستند، مشخص می‌شوند. چگونگی ترسیم و محاسبه میزان تغییرات انحناء به روش دایره محاطی اولین بار توسط شرکت (Intera Com- pany, 1992) نشان داده شد (شکل ۵). محل‌هایی با بیشینه واگرایی^۲ بین منحنی (دایره) و ساختمان، در برگیرنده مناطق با حداکثر انحناء و بنابراین حداکثر تراکم شکستگی هستند (منطقه A). محل‌هایی که واگرایی کمتری دارند و دایره محاطی مماس بر رأس سازند می‌گردد، مناطق با شکستگی کم در نظر گرفته می‌شوند که در آنها شکستگی‌های کششی محدود به رأس ساختمان می‌باشد (مناطق B,C).

در این مطالعه جهت تحلیل توسعه و تراکم شکستگی‌ها وابسته به چین خوردگی و تعیین جهت تنش‌های بر جادر سازند سروک از روش‌های ترسیم مقاطع عمود بر محور چین، تحلیل دوایر محاطی، بررسی میزان هرزروی گل حفاری در چاه‌ها و تعیین جهت تنش‌های بر جادر با استفاده از نمودارهای تصویرگر FMI استفاده گردید که نتایج آن در زیر ارائه می‌شود.

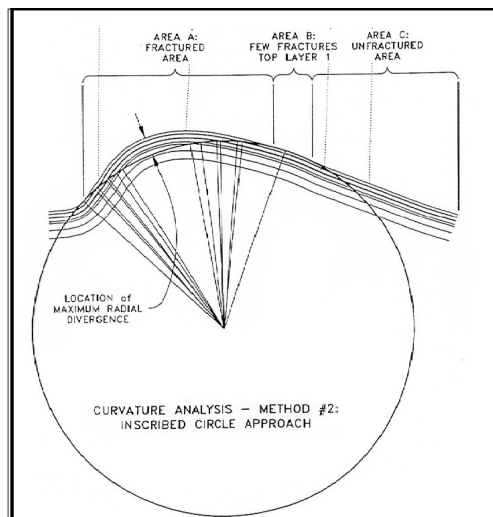
۴- ترسیم دوایر محاطی مماس بر نقاط عطف چین خوردگی جهت تحلیل توسعه شکستگی‌ها

هدف از به کارگیری روش تحلیل دایره محاطی تعیین محدوده گسترش شکستگی‌های باز ناشی از خمش عرضی چین خوردگی یا شکستگی‌های کششی ساختار تاقدیسی است. اصول این روش بر این فرض استوار است که حداکثر توزیع و گسترش شکستگی‌های حاصل از انحناء چین خوردگی به مناطق با حداکثر خمش ساختار یعنی نواحی واقع در بین نقاط عطف^۱ چین محدود می‌شود و به طرف پال‌ها از میزان تراکم، عرض، تراوایی و تخلخل آنها کاسته می‌شود.

1 ¹ Inflection points

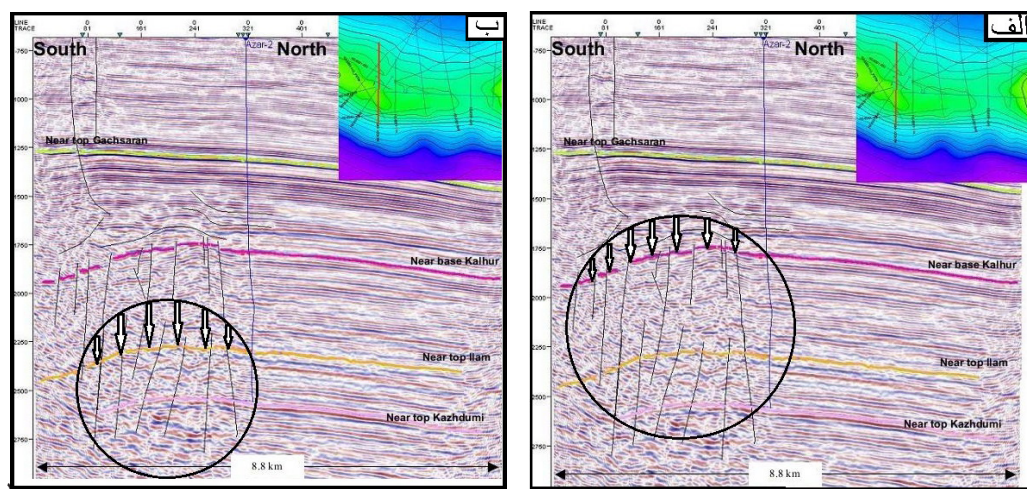
2 UGC Maps

3 Divergence



شکل ۵. چگونگی ترسیم و محاسبه میزان تغییرات انحناء به روش دایره محاطی (Intera Petroleum Technologies Company, 1992)

جهت بررسی تراکم شکستگی‌ها و مناطق دارای پتانسیل خردشدگی بیشتر، دواير محاطی بر روی سرسازندهای پایده-گورپی و ایلام به جهت توسعه شکستگی در افق‌های کریناته و همچنین واضح بودن سرسازندهای آنها در مقاطع ژئوفیزیکی عمود بر محور چین ترسیم گردید (شکل ۶ الف و ب).



شکل ۶. ترسیم دواير محاطی بر سر سازند پایده-گورپی (الف) و سر سازند ایلام (ب).

و مناطق با تراکم بیشتر در یال جلویی این تاقدیس مرتبط با تکامل چین خوردگی می‌باشد. تحلیل تنش‌های برجا در اطراف چاه قائم وقتی که حفاری صورت می‌گیرد در حقیقت میدان تنش را در منطقه محل حفاری بهم می‌ریزد. چاه که یک منطقه کم فشار محسوب می‌شود، در داخل سازند پرفشار حفاری شده است و از آنجایی که در عمق که تمامی منافذ با سیالات پر شده است، در نتیجه فشار هیدروستاتیک نقش اصلی را در تغییر شکل اطراف چاه بازی می‌کند. با توجه به اینکه

همانگونه که در شکل ۶ مشاهده می‌شود فاصله دواير محاط شده از راس سازندها شکنای میدان که با پیکان‌های سفید نشان داده شده‌اند، در یال جنوبی نسبت به یال شمالی تاقدیس بیشتر می‌باشد. فاصله بیشتر دایره از راس سازندها و توسعه خطواره‌های گسلی در بخش خمیده ساختار بخصوص در یال جنوبی تاقدیس، توسعه و تراکم بیشتر شکستگی را در این یال نشان می‌دهد. مورد فوق مطابق با الگوی کلی چین خوردگی و توسعه شکستگی وابسته به آن در یال‌های جلویی تاقدیس‌ها در زاگرس می‌باشد. و نتیجه‌گیری میشود توسعه شکستگی‌ها



همیشه سیالات تمایل دارند از محل پرفشار به محل کم فشار حرکت کنند. این پدیده باعث تغییر تنش بر جا می‌شود. با فرض اینکه S_v تنش اصلی قائم است، پس تنش‌های مؤثر $(\sigma_j = S_j - \delta_j P_p)$ در اطراف چاه قائم به شعاع R در دستگاه مختصات استوانه‌ای بر اساس فرمول معروف کرش^۱ مطابق روابط زیر است: (مهدور و همکاران، ۱۳۹۴) به نقل از (Nelson, 2005).

۱ Kirsch

$$\sigma_{\theta\theta} = \frac{1}{2}(S'_{H\max} + S'_{h\min})(1 + \frac{R^2}{r^2}) - \frac{1}{2}(S'_{H\max} + S'_{h\min})(1 + 3\frac{R^4}{r^4})\cos 2\theta - \frac{\Delta PR^2}{r^2} \quad (۱)$$

$$\sigma_{rr} = \frac{1}{2}(S'_{H\max} + S'_{h\min})(1 - \frac{R^2}{r^2}) + \frac{1}{2}(S'_{H\max} - S'_{h\min})(1 - 4\frac{R^2}{r^2} + 3\frac{R^4}{r^4})\cos 2\theta + \frac{\Delta PR^2}{r^2} \quad (۲)$$

$$\tau_{r\theta} = \frac{1}{2}(S'_{H\max} - S'_{h\min})(1 + 2\frac{R^2}{r^2} - 3\frac{R^4}{r^4})\sin 2\theta \quad (۳)$$

$$\sigma_{zz} = S'_v - 2\nu(S'_{H\max} - S'_{h\min})\cos 2\theta - P_p \quad (۴)$$

دیواره چاه مطابق شکل ۷ به صورت زیر می‌باشد: تنش مؤثر شعاعی که عمود بر چاه عمل می‌کند، تنش محوری مؤثر که موازی با محور چاه عمل می‌کند و تنش مماسی مؤثر که عمود بر صفحه و می‌باشد.

که $\tau_{r\theta}$ تنش برشی شعاعی، ν نسبت پواسون، ΔP اختلاف فشار گل و فشار منفذی $(P_w - P_p)$ و θ زاویه‌ای است که از آزیموت $S_{H\max}$ اندازه‌گیری می‌شود. سه تنش اصلی موجود در

$$\sigma_{\theta\theta} = (S'_{H\max} + S'_{H\min}) - 2(S'_{H\max} - S'_{H\min})\cos 2\theta - \Delta P \quad (۵)$$

$$\sigma_{rr} = 0 \quad (۶)$$

$$\sigma_{zz} = S'_v - 2\nu(S'_{H\max} - S'_{H\min})\cos 2\theta - P_p \quad (۷)$$

روابط زیر به دست می‌آید.

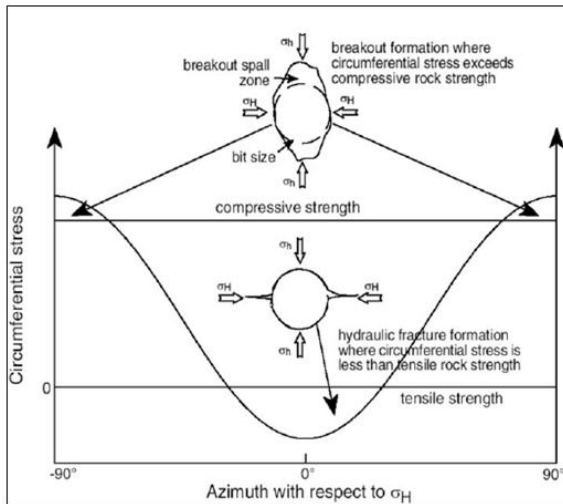
اگر در رابطه ۵ مقادیر صفر و ۹۰ در نظر گرفته شود یعنی به ترتیب آزیموت تنش حداکثر ($S_{H\max}$) و حداقل ($S_{H\min}$) از

$$\sigma_{\theta}^{\min} = 3S_{h\min} - S_{H\max} - P_w - P_p \Rightarrow \theta = 0 \quad (۸)$$

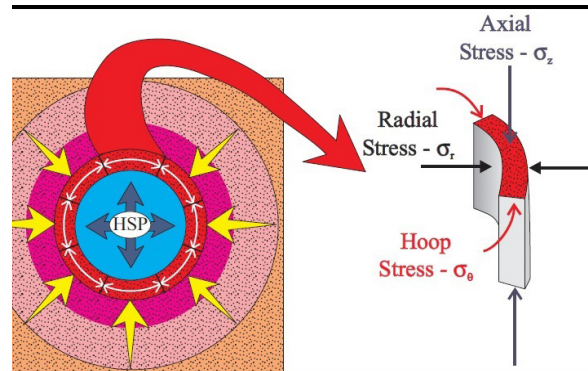
$$\sigma_{\theta}^{\max} = 3S_{H\max} - S_{h\min} - P_w - P_p \Rightarrow \theta = 90 \quad (۹)$$

مشاهده می‌شود که ناشی از شکست‌های فشاری می‌باشد. مقدار خردشدگی بر حسب زاویه بازشدگی اندازه‌گیری شده، که به آن عرض خردشدگی می‌گویند (Tingay et al, 2008). ایجاد این شکستگی‌های القایی در دیواره چاه با در نظر گرفتن شرایطی خاص می‌تواند، نشان دهنده امتداد میدان تنش‌های اصلی کنونی باشد.

از روابط قبل می‌توان دریافت که حداکثر تمرکز تنش در $\theta=90$ (آزیموت $S_{h\min}$) بدست می‌آید. اگر معادله حلقه تنش برای رابطه (۵) رسم شود (شکل ۸) نقاط $\theta=0$ و $\theta=90$ به ترتیب منطبق بر حداقل و حداکثر تمرکز تنش می‌باشد. اگر چنانچه مطابق شکل ۸ تمرکز تنش فراتر از مقاومت فشاری سنگ دیواره شود، به اصطلاح خردشدگی، بازشدگی یا پوسته‌ای شدن دیواره



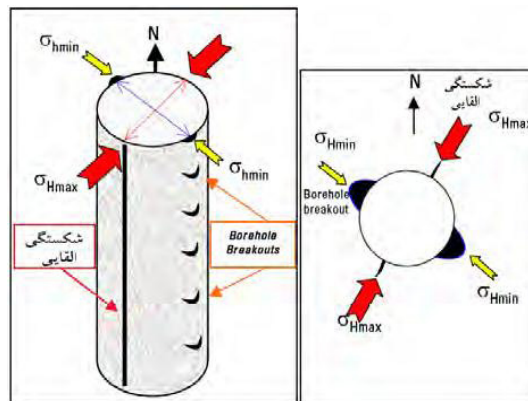
شکل ۸. نمودار حلقه تنش در اطراف چاه (Tinagay et al., 2008).



شکل ۷. تبدیل تنش برجا به تنش القایی در یک چاه قائم شامل تنش‌های مماسی (σ_θ)، محوری (σ_z) و شعاعی (σ_r).

می‌یابد. در چنین حالتی، سنگ‌های دیواره چاه تحت تنش کششی قرار گرفته و شکستگی‌های کششی به شکل خطوط مستقیم تقریباً قائم و کم عرض در دیواره چاه رخ می‌دهند. این شکستگی‌های ایجاد شده را در اصطلاح شکستگی‌های القایی حفاری^۲ نامیده می‌شوند و نیز به صورت دو شکستگی با ۱۸۰ درجه اختلاف فاز دیده می‌شوند (شکل ۱۰ و ۱۱). از آنجا که شکستگی‌های کششی - القایی^۳ در راستای تنش افقی حداکثر و خردشدگی‌های دیواره^۴ در راستای تنش افقی حداقل می‌باشند (Peska and Zoback, 1995)، بنابراین از این نوع شکستگی‌ها برای تعیین جهت تنش برجا استفاده شده است (شکل ۹).

- 1 Radial stress
- 2 Drilling Induced Fracture
- 3 Tensile or Indused fractures
- 4 Borehole Breakouts



شکل ۹. شکستگی‌های القایی و ریختگی‌ها ناشی از حفاری در راستای تنش‌های افقی بیشینه و کمینه.

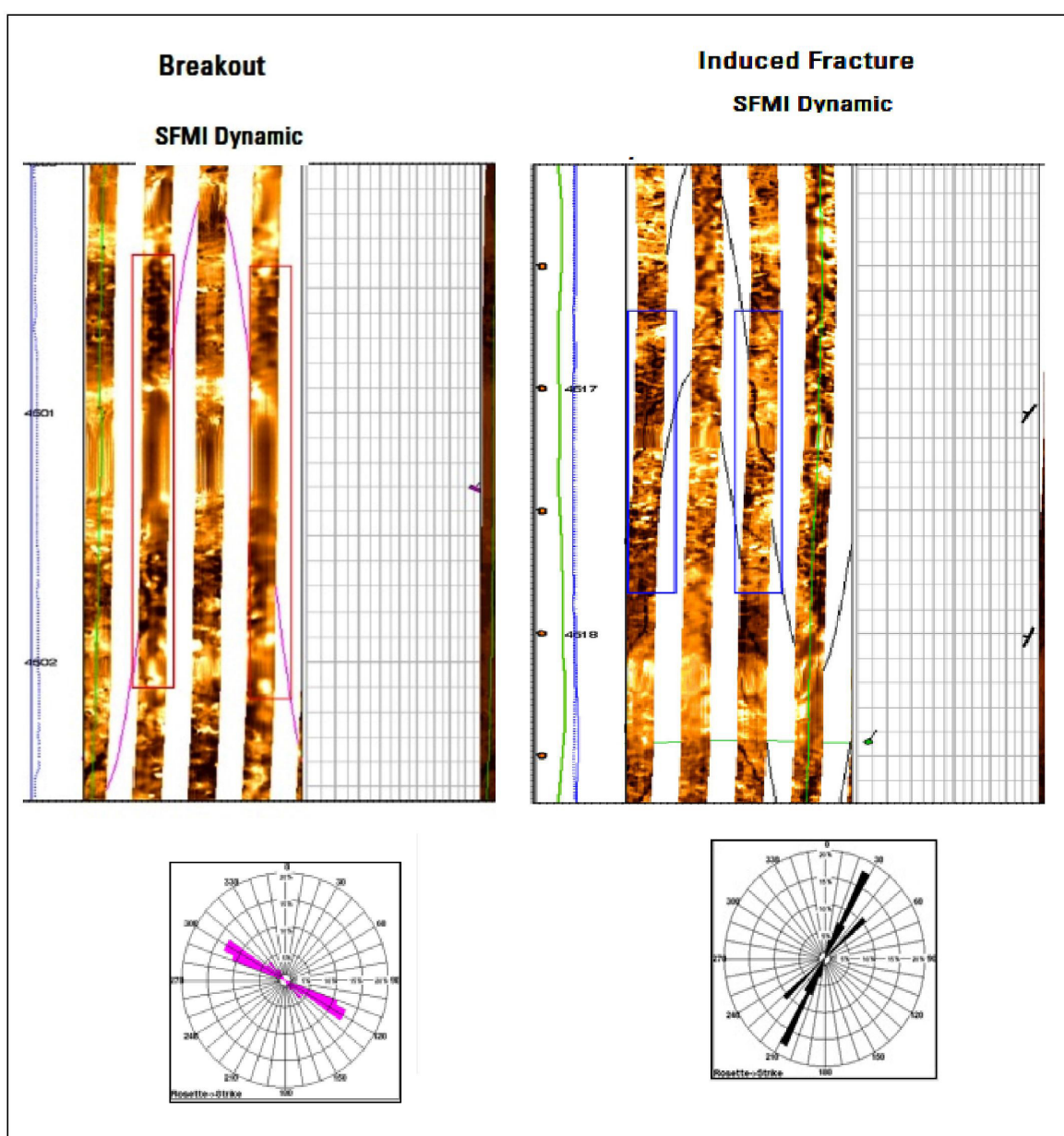
۵- تحلیل ناپایداری‌های دیواره چاه

موقعیت تنش‌ها و شکستگی‌های ایجاد شده چاه‌های حفاری بوسیله نمودار تصویرگر FMI در شکل ۹ نشان داده شده است. در مواردی که وزن گل حفاری (تنش شعاعی^۱) بسیار پایین باشد، حداکثر تنش محاطی از تنش شعاعی بیشتر می‌شود. در این حالت، اعمال تنشهای برشی بر دیواره چاه، موجب بیضی شدگی چاه می‌شوند. این پدیده در تصاویر FMI به صورت دو ناحیه تیره به شکل اغتشاش و بهم ریختگی در نمودار با اختلاف فاز ۱۸۰ درجه، دیده می‌شود (شکل ۱۰ و ۱۱). در مقابل در حالتی که وزن گل حفاری بسیار زیاد باشد، تنش شعاعی افزایش یافته و تنش مماسی کاهش

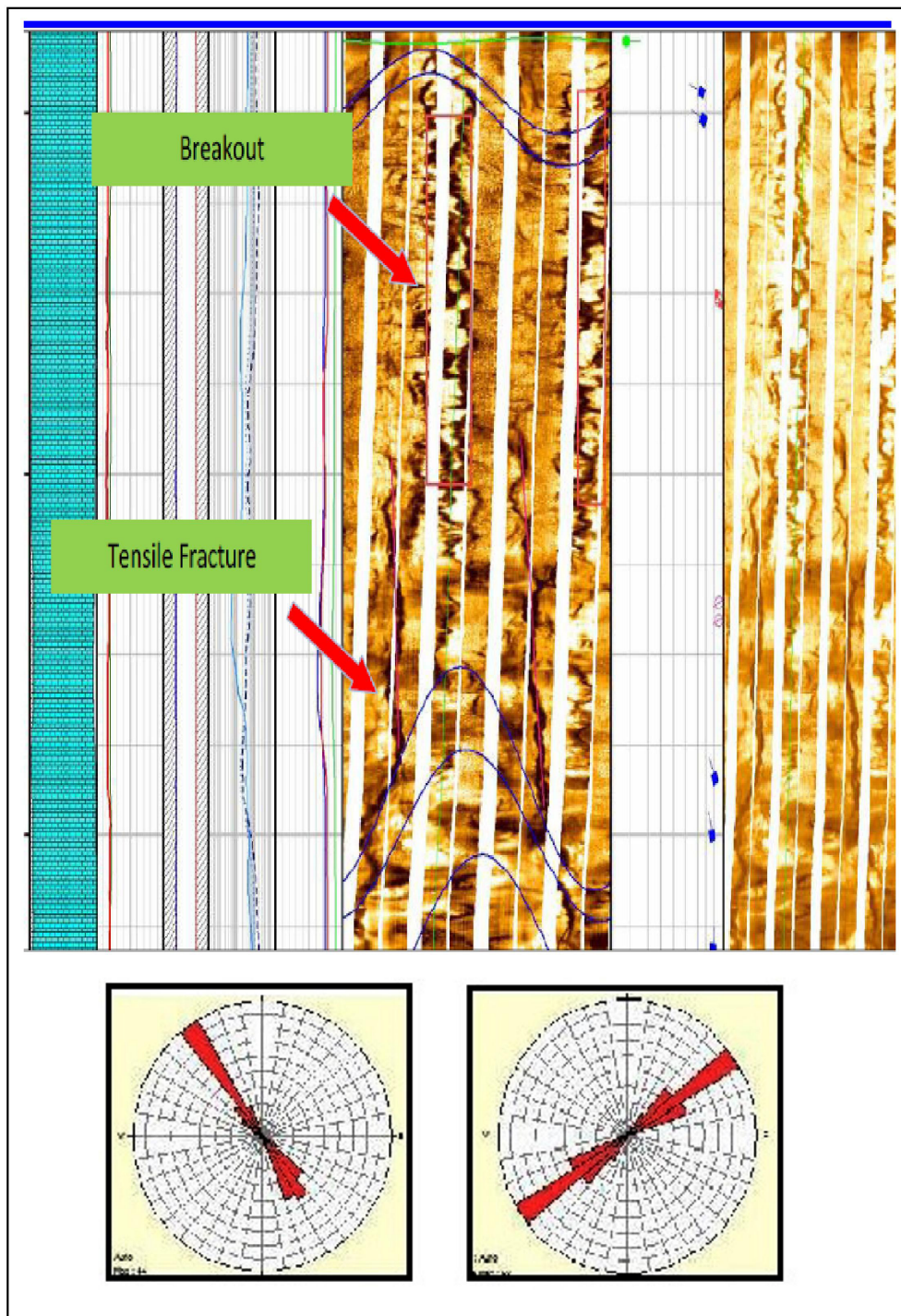
۶- شکستگی حاصل از عملیات حفاری و تعیین جهت تنش‌های برجا در میدان

کششی در چاه است. شکستگی‌های کششی در جهت تنش افقی بیشینه (σ_{Hmax}) و عمود بر تنش افقی کمینه (σ_{hmin}) و شکستگی‌های برشی در راستای تنش افقی کمینه و عمود بر تنش افقی بیشینه ایجاد می‌شوند (Brudy and Zoback, 1993). جهت تعیین ریختگی و شکستگی‌های کششی و همچنین تعیین تنش‌های بیشینه و کمینه برجا از نمودار تصویرگر FMI در چاه‌های شماره ۴ (واقع در بخش جنوب شرقی میدان) (شکل ۱۰) و در چاه شماره ۲ (واقع در بخش میانی میدان) (شکل ۱۱) استفاده شده است.

این شکستگی‌ها در اثر عوامل مرتبط با حفاری، بصورت مصنوعی و در اثر توزیع غیریکسان و نامساوی تنش‌های مماسی که بر روی دیواره چاه در محل تلاقی با تنش‌های افقی حداکثر ۱۵ و تنش‌های افقی حداقل ۳ اعمال می‌شود، بوجود می‌آیند (Plumb and Cox, 1987). همانطور که قبلاً بیان شد ریزش‌های دیواره چاه مبین وجود شکستگی‌های برشی و شکستگی‌های ناشی از حفاری مبین شکستگی‌های



شکل ۱۰. نمودارهای FMI چاه شماره ۴ و نمایش ریختگی‌ها و شکستگی‌های کششی جهت تعیین جهت تنش کمینه (سمت راست) و تنش بیشینه (سمت چپ) در این چاه.



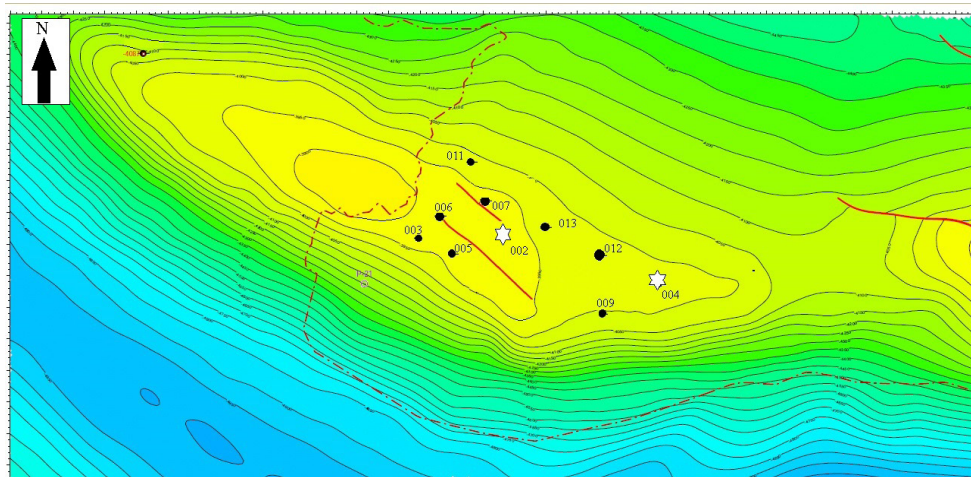
شکل ۱۱. نمودارهای FMI چاه شماره ۲ و نمایش ریختگی‌ها و شکستگی‌های کششی جهت تعیین جهت تنش بیشینه (سمت راست) و تنش کمینه (سمت چپ) در این چاه.

مورد پیشنهاد می‌دهد که تنش بیشینه برجا در بخش میانی چین میدان متأثر از چین خوردگی نئوژن زاگرس می‌باشد به نحوی که در اثر فشارش ورقه عربی، شکستگی‌های کششی در جهت عمود بر محور چین و ریختگی‌ها در جهت تنش کمینه برجا در جهت شمال غربی- جنوب شرقی، به موازات محور چین خوردگی و در راستای شکستگی‌های طولی قرار دارند.

جهت تنش بیشینه و کمینه در چاه شماره ۲ واقع در بخش میانی ناقدیس (شکل ۱۲) به ترتیب N50 و N140 می‌باشد. همانگونه که پیشتر اشاره شد جهت تنش بیشینه برجا نشانگر شکستگی کششی و القایی می‌باشد که در چاه شماره ۲ این جهت دقیقاً در راستای محور فشارش عربی یعنی شمال شرقی می‌باشد که در راستای عمود بر محور چین می‌باشد. این

عمق زیر سطحی در بخش شرقی تاقدیس از راس سازند سروک (شکل ۱۲)، از جهت کلی شمال غربی- جنوب شرقی در این میدان به جهت شرق شمال شرق- غرب جنوب غربی، نشان می‌دهد که جهت شکستگی کششی و یا جهت تنش بیشینه برجا منحرف شده و راستای N30E را نشان می‌دهد. ریختگی‌ها و یا جهت تنش کمینه برجا در راستای عمود بر راستای شکستگی‌های کششی و دارای روند N120 هستند.

در رابطه با تفسیر تنش‌های برجای بیشینه و کمینه و جهات شکستگی‌های کششی و ریختگی‌ها در چاه شماره ۴ واقع در نزدیکی دماغه جنوب شرقی چین (شکل ۱۲)، میتوان انحراف و تغییر جهات تنش نسبت به چاه شماره ۲ را مشاهده کرد. به نظر میرسد الگوی توسعه این شکستگی‌ها که از الگوی کلی شکستگی‌های وابسته به چین خوردگی در زاگرس متفاوت هستند به رخدادهای تکنیکی بعد از چین خوردگی منطقه مربوط باشد. انحراف محور چین و کنتورهای نقشه‌های هم

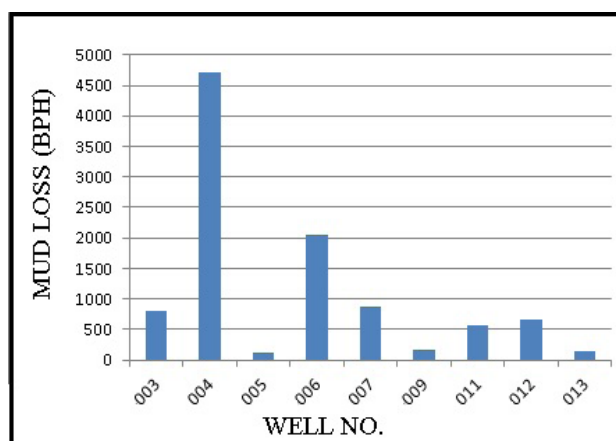


شکل ۱۲. نقشه زیرزمینی از سازند سروک میدان. چاه‌های شماره ۲ و ۴ با علامت ستاره نشان داده شده‌اند.

سازندهای کرناته و دارای قابلیت توسعه شکستگی در بخش‌های بالایی و پایینی سازند سروک و ماکزیمم ۲۰ متر ابتدایی از سازند کژدمی، از اطلاعات حفاری ۹ حلقه چاه حفاری شده میدان که بیشتر در ناحیه ستیغ قرار داشته‌اند استفاده گردید. نمودارهای هیستوگرام اطلاعات هرزروی گل بر حسب بشکه در ساعت برای چاه‌های فوق تهیه گردید (شکل ۱۳).

۷- استفاده از داده‌های هرزروی گل حفاری جهت تحلیل توسعه شکستگی‌ها در ارتباط با چین خوردگی و رخدادهای متعاقب آن

به دلیل ارتباط مستقیم بین توسعه شکستگی و هرزروی گل حفاری (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۲)، جهت استفاده از این داده‌ها برای مقایسه ارتباط بین میزان هرزروی و توسعه شکستگی در

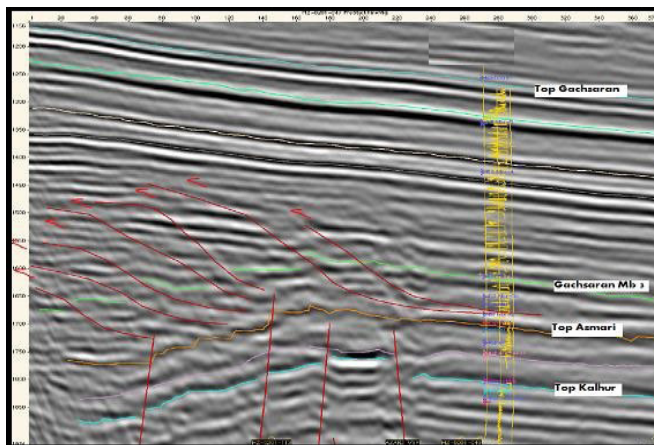


شکل ۱۳. نمودار میزان هرزروی گل حفاری افق‌های مخزنی در چاه‌های مختلف میدان.

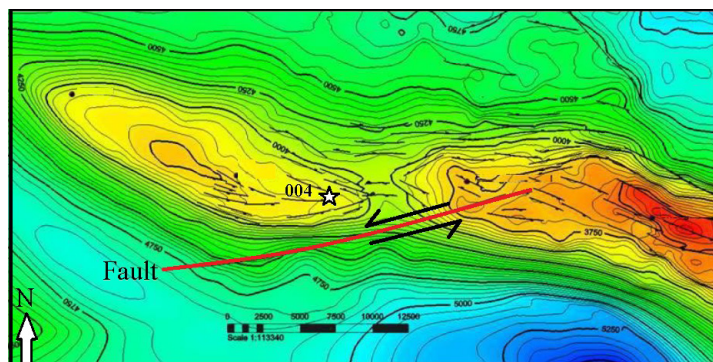
۸- بحث

دوپلکسی در اثر انتشار گسل در مجاورت چاه‌های یال غربی و توسعه شکستگی در این چاه‌ها می‌باشد (شکل ۱۴). هرزروی کمتر گل حفاری در چاه‌های شماره ۱۱ و ۱۲ و ۱۳ (به ترتیب به میزان ۵۷۰، ۶۶۰ و ۱۳۵ بشکه در ساعت) را می‌توان به دلیل واقع شدن در یال کم شیب تر تاقدیس و در نتیجه توسعه کمتر شکستگی به علت دگرشکلی کمتر توجیه کرد. موارد بالا جهت تبیین ارتباط توسعه شکستگی و هرزروی گل حفاری مربوط به فاز فشارش کلی شمال شرقی و انتشار گسلش وابسته به چین خوردگی بیان گردید. ولی همان‌گونه که از شکل ۱۳ نشان داده شد، بیشترین میزان هرزروی مربوط به چاه شماره ۴ و به میزان ۴۷۲۰ بشکه در ساعت است. شکل‌های ۱۲ و ۱۵ نشان می‌دهند در دماغه جنوب شرقی تاقدیس کنتورهای هم عمق از راستای کلی شمال غرب-جنوب شرقی منحرف شده و به سمت تقریبی شرق شمال شرقی- غرب جنوب غرب متمایل شده‌اند. پیش از این در شکل ۱۰ در تحلیل جهت گیری تنش بیشینه و کمینه برجا نشان داده شد که جهت گیری شکستگی‌های کششی در چاه شماره ۴ از جهت عمومی تاقدیس N50E منحرف شده و راستای N30E را نشان می‌دهد. این میدان همانند دیگر میادین حوضه فرو افتاده دزفول دارای محوری با امتداد شمال غرب- جنوب شرق است ولی در انتهای شرقی در اثر خمش و عملکرد گسل امتداد لغز چپگرد با شیب تقریباً قائم که متعاقب چین خوردگی صورت گرفته است از جهت اصلی خود خارج شده و در جهت چپگرد تحت تاثیر نیروهای امتداد لغزی از تاقدیس مجاور و مشابه خود بصورت دچار جابجایی شده است (شکل ۱۵ و ۱۶). هرزروی بسیار زیاد گل حفاری در اثر توسعه شکستگی‌ها در چاه شماره ۴ به دلیل واقع شدن این چاه در کمترین فاصله از خط اثر گسل امتداد لغز بین دو تاقدیس و واقع شدن در منطقه تمرکز تنش در اثر برهم کنش توام خطواره‌های گسلی شمال غربی وابسته به چین خوردگی و شمال شرقی به دلیل عملکرد فعالیت گسل امتداد لغز چپگرد متعاقب رویدادهای چین خوردگی نئوژن در زاگرس می‌باشد.

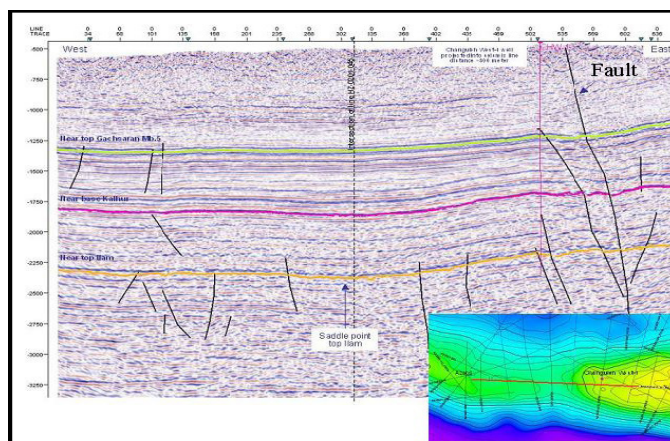
مقطع عرضی و عمود بر محور چین خوردگی (شکل ۶) نشان می‌دهد که بین برخاستگی تاقدیس و گسل‌های راندگی و پس راندگی با امتدادی به موازات محور چین (شمال غرب- جنوب شرق) ارتباط مستقیمی وجود دارد. تاقدیس مورد نظر از نوع نامتقارن با شیب‌هایی نابرابر می‌باشد که یال جنوب غربی آن به دلیل مهاجرت گسل‌های راندگی حوضه فورلندی زاگرس به سمت جنوب غرب دارای شیب بیشتری از یال شمال شرقی آن است (Berberain, 1995). اختلاف در شیب یال‌ها هم خود را در تراکم بیشتر کنتورهای هم ضخامت زیرسطحی (شکل ۱۲) نشان می‌دهد. یال دارای شیب بیشتر در تاقدیس به علت فزاینده‌تری بیشتر واحدهای رسوبی در اثر عملکرد فشارش و حرکت گسل‌های راندگی، دگرشلی درونی بیشتری را متحمل شده و به دلیل نرخ کرنش و دگرریختی بیشتر، باعث توسعه شکستگی و انتشار گسل‌های هم سو با راندگی اصلی می‌شود (شکل ۱۴). به همین دلیل و از لحاظ تئوریک انتظار توسعه شکستگی و گسلش در چاه‌های یال جنوب غربی این میدان از چاه‌های یال شمال شرقی بیشتر است. تغییرات میزان هرزروی گل حفاری در چاه‌های حفر شده در این میدان نفتی ارتباط مستقیم با موقعیت قرارگیری چاه در یال جلویی و عقبی (به دلیل شیب بیشتر و شکستگی بیشتر در یال جلویی تاقدیس) و همچنین عبور خطواره‌های راندگی و پس راندگی مربوط به تکامل چین خوردگی از محل و یا در نزدیکی این چاه‌ها دارد. به همین دلیل چاه‌های شماره ۶ و ۷ هرزروی بالایی را (به ترتیب ۲۰۶۰ و ۸۶۰ بشکه در ساعت) در سازند سروک نشان می‌دهند. این چاه‌ها در محدوده‌های عبور خطواره‌های گسلی راندگی و پس راندگی موازی با محور چین و در ارتباط با تکامل چین خوردگی منطقه هستند (شکل ۱۲). افزایش هرزروی در این محدوده را می‌توان در ارتباط با گسترش شکستگی‌های کششی و طولی در اثر افزایش کوتاه شدگی و برخاستگی تاقدیس در نظر گرفت که به دلیل پدیده انتشار گسل‌های راندگی و تشکیل ساختارهای



شکل ۱۴. انتشار گسل‌های راندگی و تشکیل ساختار دوپلکس در اثر انتشار گسل در مجاورت چاه‌های یال غربی و توسعه شکستگی.



شکل ۱۵. جابجایی محور تاقدیس مورد مطالعه از تاقدیس غربی در اثر عملکرد گسل امتداد لغز چپگرد و موقعیت چاه شماره ۴ در محل برهم کنش خطواره‌های گسلی شمال غربی و شمال شرقی و توسعه شکستگی در نتیجه افزایش هرزروی گل حفاری.



شکل ۱۶. مقطع عمود بر محور چین و نمایش گسل امتداد لغز انتقالی بین دو تاقدیس با شیب تقریباً قائم و پدیده انتشار گسل.



۹- نتیجه گیری

شکستگی‌های کششی در بخش میانی میدان متأثر از چین خوردگی نئوژن زاگرس و انتشار راندگی‌ها می‌باشد. افزایش میزان هرزروی گل حفاری در چاه‌های حفر شده در این میدان نفتی ارتباط مستقیم با موقعیت قرارگیری چاه‌ها در محل عبور خطواره‌های راندگی و پس راندگی مربوط به تکامل چین خوردگی دارد. در دماغه جنوب شرقی تاقدیس جهات محورهای پیشینه و کمینه برجا از بخش میانی منحرف شده و به ترتیب دارای جهات N30E و N120 هستند. تغییر جهات محورهای تنش و افزایش میزان هرزروی گل حفاری در دماغه جنوب شرقی تاقدیس (چاه شماره ۴) به دلیل واقع شدن این چاه در کمترین فاصله از خط اثر گسل امتداد لغز بین دو تاقدیس و همچنین در اثر واقع شدن در ناحیه تمرکز تنش به علت برهم کنش توام خطواره‌های گسلی شمال غربی (ناشی از چین خوردگی اصلی نئوژن زاگرس) و شرق شمال شرقی (ناشی از عملکرد گسل چپگرد بین دو تاقدیس که مسبب جابجایی محور تاقدیس مورد مطالعه نسبت به تاقدیس مجاور غربی شده است) می‌باشد که باعث گسترش و افزایش تراکم شکستگی‌ها و در نتیجه افزایش میزان هرزروی گل حفاری شده است.

تاقدیس مورد مطالعه از نوع نامتقارن با شیب‌هایی نابرابر می‌باشد که یال جنوب غربی آن به دلیل مهاجرت گسل‌های راندگی حوضه فورلندی زاگرس به سمت جنوب غرب، دارای شیب بیشتری از یال شمال شرقی آن است. اختلاف در شیب یال‌ها خود را در تراکم بیشتر کنتورهای هم عمق زیرسطحی در یال جلویی نشان می‌دهد. ترسیم دوایر محاط بر مقطع چین خوردگی، افزایش فاصله دوایر محاط شده از راس سازندهای شکنای پایده-گورپی و ایلام در یال جنوبی نسبت به یال شمالی تاقدیس را بیان می‌کند و تفسیر مقاطع عرضی و عمود بر محور چین خوردگی نشان می‌دهند که بین برخاستگی تاقدیس و گسل‌های راندگی و پس راندگی با امتدادی به موازات محور چین (شمال غرب-جنوب شرق) ارتباط مستقیمی وجود دارد. خمش بیشتر در یال جلویی به دلیل افزایش دگرشکلی درونی، باعث توسعه و تراکم شکستگی‌های مرتبط با چین خوردگی در این یال می‌شود. جهات تنش پیشینه و کمینه در چاه شماره ۲ واقع در بخش میانی تاقدیس به ترتیب N50 و N140 می‌باشد. تنش پیشینه برجا و در نتیجه توسعه



منابع

یوسفی، مهدی، موسوی، سید مرتضی، خطیب، محمد مهدی و یزدانی، محمد، ۱۳۹۷. تحلیل برهم کنش روندهای گسلی بر توسعه شکستگی‌های مخزن آسماری در تاقدیس رگ سفید با استفاده از نمودارهای تصویرگر. فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین شناسی و اکتشاف معدنی کشور، شماره ۱۱۰، ص ۱۲۸-۱۱۹.

مهدور، م.ر.، فارسی‌مدان، م.، و کمالی، ز.، ۱۳۹۴. بررسی عملکرد شکستگی‌ها و تعیین تنش برجا در سازند مخزنی آسماری میدان نفتی مارون (بر اساس تفسیر نتایج نمودارهای تصویرگر)، مجله زمینساخت، شماره ۲، ص ۳۵-۱۴.

Reference:

Berberain, M., 1995. Master blind thrust fault hidden under the Zagros folds: Active basement tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics* 241, 143-224.

Brudy, M., Zoback, M.D., 1993. Compressive and tensile failure of bore-holes arbitrarily inclined to principal stress axis: application to the KTB boreholes. 34th US Symposium on Rock Mechanics Germany.

Intra Petroleum Technologies Company, Ltd, 1992. Marun Field study 9, 554-5621.

Jaeger, J.C., Cook, N.G.W., 1979. Fundamentals of rock mechanics. Chapman & Hall, New York.

Nelson, E.J., 2005. Transverse drilling-induced tensile fractures in the West Tuna area, Gipps land Basin, Australia. implications for the in situ stress regime 42, 361-371.

Peska, P., Zoback, M.D., 1995. Compressive and tensile failure of inclined borehole and determination of in situ stress and rock strength. *Journal Geophysics Research* 100 (B7), 12791-12811.

Plumb, R.A., Cox, J.W., 1987. Stress directions in eastern North America determined to 4.5 km from borehole elongation measurements. *Journal Geophysics Research* 90, 5513-5522.

Sherkati, S., Letouzey, j., Frizon de Lamotte., 2006. Central Zagros fold-thrust belt (Iran): New insights from seismic data, field observation, and sandbox modeling. *Tectonics* 25, 1-27.

Tingay, M., Reinecker, J., Müller, B., 2008. Borehole breakout and drilling-induced fracture analysis from image logs. World Stress Map Project. Guidelines: Image Logs.

Tectonics
August 2018, Vol:6



Analysis of fold -related fractures development and determination of in-situ stresses in the Sarvak formation in one of the west oil fields

Mohsen Shourab^{1*}, Mehdi Yousefi², Seyed Morteza Mousavi³

1 Sarvak Azar Engineering & Development Company (SAED).

2 PhD in Structural Geology, Department of Geology, University of Birjand.

3 Department of Geology, Faculty of science, University of Birjand.



Abstract

Analysis of seismic sections perpendicular to the fold axis and draw the circles surrounding on this profiles indicate the more bending in forelimb due to the more uplift in sedimentary units in effect the compression performance and thrust faults that caused fractures development and density in the southwest limb. Increasing loss of drilling mud in the forelimb anticline wells is associated with development of tensile and longitudinal fractures related to increase in shortening and anticline uplift, thrust faults propagation and create the duplex structures in near there wells. The maximum and minimum in-situ stresses directions in well No. 2 located in the medial part of anticline are respectively N50 and N140 which are dependent on the Zagros neogene folding. Tensile-induced fractures or maximum in-situ stress direction was inclined in the eastern part of anticline and showing N30E direction. Borehole Breakout or minimum in-situ stress direction is perpendicular to tensile fracture and has N120 orientation. In the southwest part of this anticline, UGC Map is showing that contours of similar thicknesses are inclined and respect to the adjacent anticline was sinistrally displaced. Very high drilling mud losses in well NO.4 located in fold southeast plange is due to the location of this well in minimum distance to strike slip fault trace between two anticlines and due to concentrated stresses resulting from dual interaction the northeast fault lineament related from folding and operation the sinstral fault after the zagros neogene folding.

Keywords:Fracture, In-situ stresses, Folding, Image Logs.

* Mohsen_shourab17@yahoo.com