

تحلیل سیستماتیک شکستگی‌های مخزن آسماری در میدان نفتی مارون (بر اساس تفسیر نتایج نمودارهای تصویرگر)

میشم فارسی‌مدان^۱، محمدرضا مهدور^{۱*} و زهرا کمالی^۲

^۱ معاونت زمین‌شناسی گسترشی شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب

^۲ دانشجوی دکتری زمین‌شناسی تکتونیک، دانشکده علوم پایه، دانشگاه بیرجند

mahdevar1138@gmail.com*

دریافت خرداد ۱۳۹۴، پذیرش آبان ۱۳۹۴

چکیده

در مطالعه ساختمان‌های نفتی، بررسی شکستگی‌های سنگ مخزن در مراحل تولید و توسعه میدان بسیار مهم و ضروری است. امروزه به کارگیری نرم افزارهای مخزنی در تحقق این مسئله به زمین‌شناسان نفتی کمک شایانی می‌نماید. میدان نفتی مارون یکی از بزرگترین میادین نفتی جنوب باختر ایران محسوب می‌شود که در شمال خاور شهر اهواز و از لحاظ زمین‌شناسی در قسمت خاوری حوضه فروافتاده دزفول شمالی قرار گرفته است. سازند آسماری مهم‌ترین سنگ مخزن میدان مارون می‌باشد. هدف از این تحقیق، بررسی سیستماتیک شکستگی‌های مخزن آسماری و نحوه گسترش این شکستگی‌ها در مخزن مذکور است. برای این منظور استفاده از نمودارهای تصویرگر بهترین و کامل‌ترین روش بوده و لذا نتایج تفسیر نمودارهای تصویرگر ۱۱ حلقه چاه در مطالعه شکستگی‌ها و ۱۶ حلقه چاه در مطالعه جهت تنش برجا مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به فراوانی شکستگی‌ها (براساس تفسیر نمودارهای تصویرگری در چاه‌ها) در یال جنوبی و شمال خاوری میدان، نظریه وقوع دو حادثه تکتونیک چین‌خوردگی و خمش که بعدها در اثر فعالیت‌های احتمالی در طول گسل‌های امتداد لغز شمالی-جنوبی تحت تأثیر نیروهای تراکمی ایجاد شده است را قوت می‌بخشد. داده‌های نمودارهای تصویرگری این چاه‌ها در میدان مارون دسته شکستگی‌های غالب با امتدادهای N155E, N130E, N95E, N60E, N30E دیده می‌شوند.

واژه‌های کلیدی: ساختمان نفتی، نمودارهای تصویرگر، شکستگی، میدان مارون، فروافتادگی دزفول.

۱. مقدمه

کمربند چین خوردگی - رورانندی زاگرس از جنوب شرق ترکیه به طرف شمال عراق و سوریه، تا غرب و جنوب ایران گسترش یافته است و با میدین هیدروکربوری بسیار عظیم خود پربارترین کمربند چین خوردگی - راندگی جهان می‌باشد. این کمربند یکی از نتایج تغییرشکل‌های ساختمانی سیستم حاشیه ای زاگرس است که نماد امروزه آن حوضه های بین‌النهرین قاره‌ای و خلیج فارس دریایی و نهشته های بطور عمده فلات قاره‌ای و سکوی قاره‌ای واقع در پیش خشکی می باشد. فروافتادگی دزفول قسمتی از کمربند چین خورده زاگرس است که در قسمت جنوب خوزستان واقع شده است. این ناحیه وسعتی در حدود شصت هزار کیلومتر را دارا می‌باشد، و ۴۵ میدان نفتی در این ناحیه قرار دارد (مطیعی، ۱۳۸۲). پدیده های تکتونیکی برای به تله انداختن هیدروکربن مخصوصاً در فروافتادگی دزفول از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است (Bordenave and Herge, 2005). تغییر شکل در زاگرس خاوری (فارس)، شامل کوتاه شدگی موازی با همگرایی است (Talebian and Jackson, 2004). منطقه مورد مطالعه در کمربند پیش خشکی زاگرس چین‌خورده واقع شده است (Sarkarinejad and Ghanbarian, 2014). کمربند پیش خشکی زاگرس چین‌خورده موازی کمربند پیش خشکی زاگرس رانده است. این کمربند به وسیله فروافتادگی دزفول، به دو ایالت فارس و لرستان تقسیم می‌شود. تغییرات ساختاری و توپوگرافی باعث تقسیم بندی این کمربند به دو قلمرو با روندهای SW, NE شده است (Agard et al., 2011). این دو قلمرو به ترتیب شامل: ۱- کمربند پیش خشکی زاگرس چین‌خورده تا محدوده خلیج فارس بصورت چین‌هایی با طول موج صدها کیلومتر بصورت نسبتاً منظم ادامه یافته (Falcon 1974, Sepehr and Cosgrove 2004, Mouthereau et al., 2006) و همچنین شامل چندین گسل اصلی پنهان می‌باشد (Berberian 1995, Leturmy et al., 2010). ۲- زاگرس مرتفع (HZ)، این قلمرو ارتفاع بیشتری نسبت به کمربند چین‌خورده دارد. شکستگی‌ها در میدین نفتی حوزه زاگرس نقش اساسی در مهاجرت و تولید از مخازن هیدروکربوری به ویژه سازند آسماری دارد و مخازن کربناته ایران از این نظر دارای شهرت جهانی هستند. این شکستگی‌ها عمدتاً منشأ ساختمانی دارند. در طی فازهای کوهزایی مختلف اغلب فعالیت‌های تکتونیکی و ساختارها در کمربند چین خورده زاگرس نتیجه جابجایی ورقه عربی به سوی اوراسیا می‌باشند. دگرشکلی فشاری از فاز لارامین (کرتاسه پسین) همزمان با جدایش صفحه عربستان از آفریقا ایجاد دریای سرخ با جهت N55E آغاز شده است و با تداوم بازشدگی این دریا در طی ترشیری و کوتاه‌تری بصورت N45E تا N40E ادامه یافته است (Berberian, 1976). یک شباهت بین حرکات پوسته‌های اخیر با آنهایی که در طی فاز پاسادین ایجاد شده و باعث رورانندی سمت جنوب غربی شده‌اند، وجود دارد. چنانچه امتداد گسل‌های ترانسفورم دریای سرخ و خلیج عدن امتداد بردار جابجایی صفحه عربستان تلقی شود، با توجه به سایر شواهد دگرشکلی و داده‌های نوتکتونیکی به نظر می‌رسد که راستای N03E تا N07W امتداد جابجایی یا فشردگی اصلی در زاگرس است که در اثر تجزیه آن می‌توان مؤلفه‌های فشاری و مؤلفه‌های جابجایی راستگرد را استنباط نمود (Vernant et al., 2004). 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 می‌کنند. وجود شکستگی‌ها حتی شکستگی‌های بسیار کوچک تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر نفوذپذیری دارد و آگاهی و شناخت از الگوها و نحوه توزیع آنها در هر میدان امکان طراحی صحیح مکان‌های حفاری چاه‌ها را به منظور امکان افزایش تولید و بهره‌وری حداکثر از مخزن و کاهش هزینه‌ها را فراهم می‌کند (ظهراب زاده، ۱۳۸۸).

۲. زمین شناسی منطقه مورد مطالعه

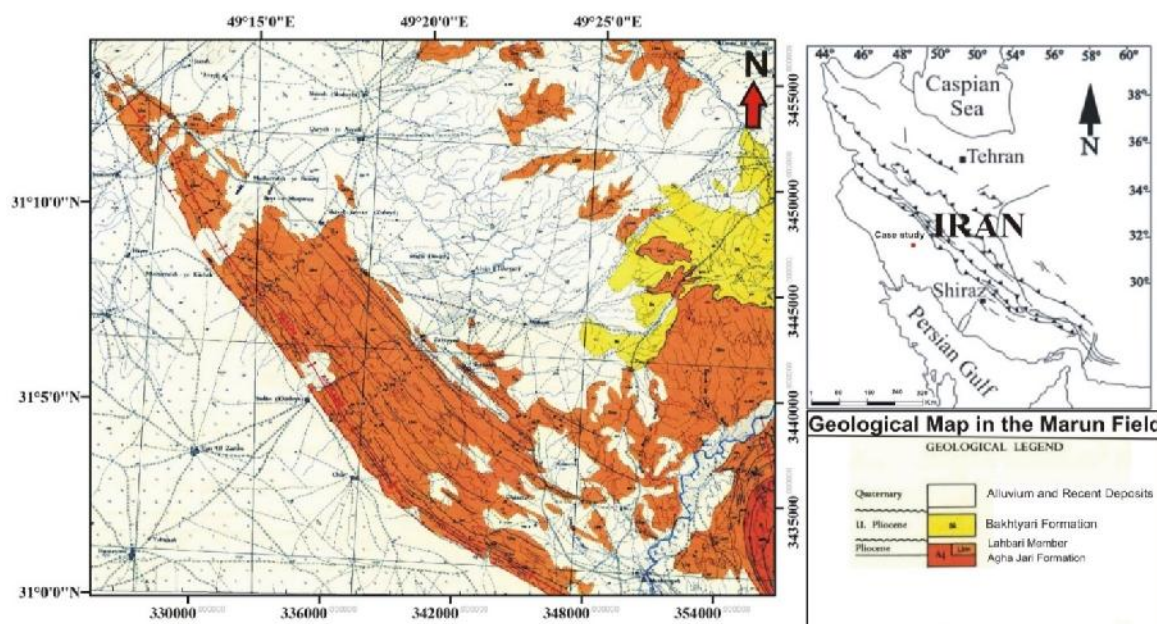
میدان نفتی مارون یکی از بزرگترین میداین نفتی حوضه دزفول شمالی می باشد که از شمال باختر به میدان کوپال و از باختر به میدان رامین و از شمال خاوری به میدان آجاجاری محدود می گردد، این میدان در فاصله ۶۰ کیلومتری خاور شهرستان اهواز و ۴۰ کیلومتری جنوب شهرستان رامهرمز در مجاورت بخش خاوری جاده رامهرمز اهواز واقع شده است. این میدان در محدوده طول جغرافیایی $49^{\circ}30'$ الی $49^{\circ}30'$ و عرض جغرافیایی 31° الی $31^{\circ}30'$ در قسمت خاور حوضه عظیم فروافتادگی دزفول شمالی واقع شده است.

رخنمون سطحی میدان مارون سازند آجاجاری بوده، و همچنین گروه‌های بنگستان و خامی، مخازن نفتی موجود در این میدان یافت می‌شوند (شکل ۱). سازند آسماری فاقد بیرون زدگی سطحی است و سطح زمین توسط آبرفت و دربخش‌هایی از یال جنوبی سازند آجاجاری و در بخش خاوری در جوار میدان آجاجاری سازندهای میشان و آجاجاری با شیب توپوگرافی کم پوشیده شده است. سازند آسماری با ضخامتی در حدود ۳۱۴ متر شامل آهک، دولومیت و لایه‌های شیل می باشد. این سازند در غرب و جنوب غرب فرو افتادگی دزفول شامل ماسه سنگ‌های بخش ماسه سنگی اهواز است. در بعضی از میدان‌ها ماسه سنگ بیش از نیمی از ستون سنگ شناسی را تشکیل می‌دهد. تاکنون مطالعات متعددی در ارتباط با زمین شناسی مخزن آسماری میدان مارون انجام شده که منجر به ارائه زون بندی‌های مختلف در این مخزن گردیده است. ولی در نهایت نتایج زون بندی میرزاقلی پور و حقی (۱۳۶۹) و شرکت‌های ایترا و استات اوپل اصلی ترین زون بندی ارائه شده می باشد. میرزاقلی پور و حقی (۱۳۶۹) براساس اطلاعات ۱۷ چاه مخزن آسماری را به ۵ لایه ای اصلی و ۵ زیرلایه تقسیم کردند.

در سازند آسماری میدان مارون لایه‌های ۱، ۲ و ۳ بیشتر از جنس آهک‌های دولومیتی بوده که بویژه لایه یک ۹۰ درصد دولومیتی می باشد. بنابراین تراکم شکستگی‌ها بخصوص در زون یک بیشتر بوده و در لایه‌های پائینی زون‌های ۴ و ۵ که به مقدار شیل و مارن لایه‌های آهکی افزوده می شود در نتیجه شکنندگی لایه‌ها کمتر شده است و شکستگی‌ها بیشتر میکروسکوپی می باشند. بالا آمدگی مرکزی تا شرقی مخزن آسماری در میدان مارون باعث توسعه شکستگی‌های زون چهار در نیمه شرقی نسبت به نیمه غربی و در نتیجه تراکم شکستگی‌های بیشتری در این قسمت شده است. براساس داده‌های آنالیز مغزه حداکثر تراکم شکستگی‌ها در لایه‌های ۱، ۲ و ۳ دیده شده اند و شکستگی‌های باز در این میدان بیشتر در یال جنوبی قطاع‌های ۳، ۴ و ۶ مشخص شده اند (شیخ زاده، ۱۳۸۷).

۳. روش کار

روش‌های متعددی جهت بررسی و شناسایی وضعیت شکستگی‌ها در زیر زمین وجود دارد که هر یک از آنها دیدگاه‌ها و شناخت متفاوتی از وضعیت شکستگی‌ها ارائه می‌دهند. در این پژوهش از نمودارهای تصویرگر استفاده گردید تا با تفسیر آنها بتوان جهت و مقدار شیب، فاصله و پهنای شکستگی‌ها با توجه به وضعیت چاه در هنگام نمودارگیری همچنین اطلاعات هرزروی گل و اطلاعات دینامیکی مخزن، در رابطه با احتمال وجود شکستگی‌ها تعیین کرد.



شکل ۱- نقشه زمین شناسی منطقه مارون (ستودنیا، ۱۳۶۶)

۴. بحث

واژه شکستگی به هرگونه گسیختگی یا ناپیوستگی فیزیکی در سنگ اطلاق می‌شود که از حد آستانه مقاومت سنگ گذشته باشد، شکستگی‌ها، درزها و گسل‌ها را شامل می‌شود. تفاوت این دو دسته، در جابجایی یا سکون صفحات است. منشأ سیستم‌های شکستگی را میتوان از طریق شیب، امتداد، مورفولوژی، فراوانی نسبی و روابط زاویه‌ای بین دسته‌های شکستگی تعیین نمود. این اطلاعات را می‌توان از طریق داده‌های مغزه جهت‌دار و نمودارهای تصویرگر به دست آورد. شکستگی‌ها بر مبنای فرآیند پیدایش به سه دسته عمده زیر تقسیم بندی می‌شوند (Mattner and ozkaya-sait, 2002):

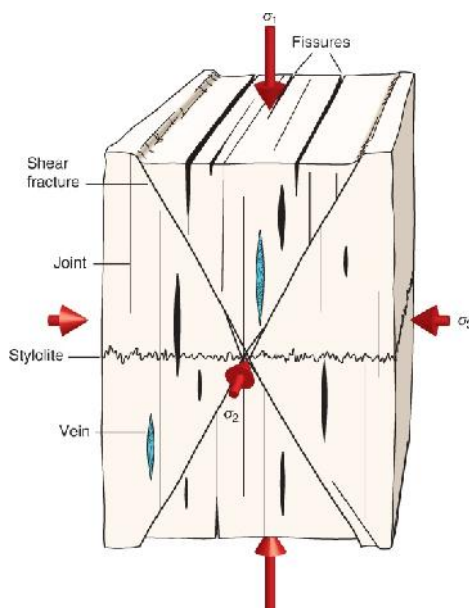
۱- شکستگی‌های طبیعی

۲- شکستگی‌های حاصل از عملیات حفاری یا مصنوعی

۳- شکستگی‌های توسعه یافته

۴-۱- شکستگی‌های طبیعی

این دسته شکستگی‌ها معمولاً تحت اعمال تنش‌های تکتونیکی بوجود می‌آیند و معمولاً در سازندهای کربناته به دلیل خواص مکانیکی آنها فراوان‌تر یافت می‌شوند. روند کلی این دسته شکستگی‌ها به کمک جهت تنش‌های تکتونیکی محلی تعیین می‌شود. نلسون (1985) معتقد است که کلیه شکستگی‌های طبیعی موجود در سنگ‌ها در اثر برش و کشش بوجود می‌آیند. شکستگی‌های برشی، معمولاً تحت تأثیر تنش‌های تراکمی ایجاد می‌شوند (شکل ۲). این دسته شکستگی‌ها که معمولاً به موازات و در امتداد محور ۲ به وجود می‌آیند، فضای باز ندارند و به کمک مؤلفه‌های چپ‌گرد و یا راست‌گرد مشخص می‌شوند و نسبت به محور ۱ (حداکثر تنش) دارای زاویه حاده (معمولاً 60 درجه) و نسبت به محور ۳ (حداقل تنش) دارای زاویه منفرجه هستند. شکستگی‌های برشی وقتی ایجاد می‌شوند که هر سه محور ۱، ۲، و ۳ فشارشی باشند. در این حالت زاویه بین شکستگی‌های برشی، زاویه مزدوج خوانده می‌شود (Nelson, 2001).



شکل ۲- شکستگی‌های طبیعی که در اثر تنش‌های تکتونیکی ایجاد می‌شوند (Fossen, 2010)

۲-۴- شکستگی‌های حاصل از عملیات حفاری

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 تنش افقی حداقل ۳ و تنش افقی حداکثر ۱ اعمال می‌شود) به وجود می‌آیند. از نقطه نظر کمی، مقدار این تنش‌های محلی بر روی دیواره چاه در محل تلاقی با تنش افقی حداکثر به کمترین مقدار خود می‌رسد. الگوهای این دسته شکستگی‌ها می‌تواند کاملاً عمودی (قائم) یا دندانه‌دار و به دو صورت کششی و برشی باشد. عوامل حفاری ایجاد کننده شکستگی‌های کششی که به شکستگی‌های القایی نیز معروف هستند، وزن گل بالا، بار روی مته، برداشته شدن وزن لایه‌های بالایی از روی لایه زیرین هنگام حفاری، خصوصیات سنگ و تنش‌های در جای محلی هستند. این شکستگی‌ها از نوع کششی بوده و در راستای تنش افقی حداکثر ایجاد می‌شوند. آنها از نظر سازوکار ایجاد و فرم، مشابه شکستگی‌های هیدرولیکی هستند (Schlumberger, 2003 , Nelson, 1985).

۳-۴- شکستگی‌های توسعه یافته

این شکستگی‌ها دسته‌ای از شکستگی‌های طبیعی هستند که از حالت شکستگی‌های بسته به شکستگی‌های باز تبدیل شده‌اند. عامل ایجاد آن‌ها استفاده از گل حفاری بسیار سنگین در طی عملیات حفاری است و معمولاً به صورت عمودی و به موازات تنش افقی حداکثر ایجاد می‌شود اما به دلیل بازشدگی، دهانه به مقدار ناچیز، تأثیر چندانی در تولید ندارند (Schlumberger, 2003 , Nelson, 1985).

تقسیم‌بندی تکتونیکی شکستگی‌های طبیعی براساس روند، گسترش، مورفولوژی و رژیم تکتونیکی محلی شامل:

الف- شکستگی‌های وابسته به گسل خوردگی

ب- شکستگی‌های وابسته به چین خوردگی

الف- شکستگی‌های وابسته به گسل خوردگی

در این سیستم شکستگی‌ها، صفحه گسل توسط صفحات برش تعریف می‌شود (Stearns, 1967).

۱- شکستگی‌های برشی نسبت به گسل موازی و حالت مزدوج دارند (با توجه به وجود دو جهت شیب مخالف شکستگی‌ها).

۲- شکستگی‌های کششی با زاویه حاده در بین شکستگی‌های مزدوج قرار می‌گیرند. به نظر می‌رسد که تراکم شکستگی‌های همراه با گسل تابع سنگ‌شناسی، فاصله از سطح گسل، میزان جابجایی در طول گسل، میزان تنش کل در سنگ، عمق تدفین و نوع گسل (راندگی، عادی) باشد که این پارامترها میزان تراکم شکستگی را از گسلی به گسل دیگر تغییر می‌دهد (Nelson, 2001).

ب- شکستگی‌های وابسته به چین خوردگی

تاریخچه تنش و تغییر شکل در طی ایجاد و رشد یک چین و سپس توسعه شکستگی‌ها در آن بسیار پیچیده است اما الگوهای ساختاری حاکم بر هر منطقه و روابط حاکم بر این الگوها در شناخت و درک این عوامل بسیار سودمند هستند. بنابراین مادامی که وضعیت و شدت این دسته شکستگی‌ها با شکل و روند چین همخوانی داشته باشد می‌توان آنها را در این رده قرار داد (شکل ۳ الف). استرنز (1967) هندسه شکستگی‌های وابسته به چین خوردگی را توصیف و ضمن نمایش شماتیک آنها (شکل ۳ ب)، آنها را در پنج دسته خلاصه نموده است (جدول ۱).

جدول ۱- هندسه شکستگی‌های وابسته به چین خوردگی (Stearns, 1967).

Fracture Geometry of Folds			
Type Set	σ_1	σ_2	σ_3
I	parallel to dip direction parallel to bedding	perpendicular to bedding	parallel to bedding
II	perpendicular to dip direction parallel to bedding	perpendicular to bedding	parallel to bedding
III	a perpendicular to bedding	parallel to bedding strike	parallel to dip direction
	b parallel to dip direction	parallel to bedding strike	perpendicular to bedding
IV	parallel to bedding	parallel to bedding strike	perpendicular to bedding
V	at an angle to bedding plane (dihedral angle)	parallel to bedding strike	at an angle to bedding plane (90° - dihedral angle)

I associated with bending in strike section
 II associated with bending dip section
 III associated with bending in cross-section: a. extensional, b. compressional
 IV associated with fold-related thrusting
 V associated with bedding plan slip

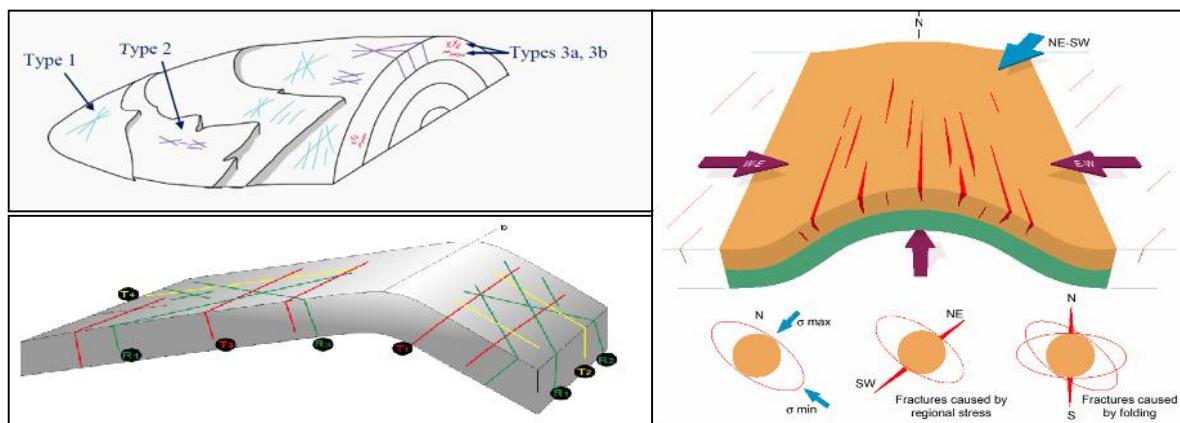
۵- الگوی شکستگی‌ها در جنوب غرب ایران

مخازن کربناته جنوب غرب ایران از نظر وجود شکستگی‌های طبیعی شهرت جهانی داشته و دارای اهمیت فراوانی از نظر تولید نفت و گاز هستند. ۳ الگوی اصلی و عمده شکستگی در این مجموعه به شرح زیر می‌باشد (شکل ۳ ب):

الگوی ۱- شکستگی‌های عرضی

الگوی ۲- شکستگی‌های طولی

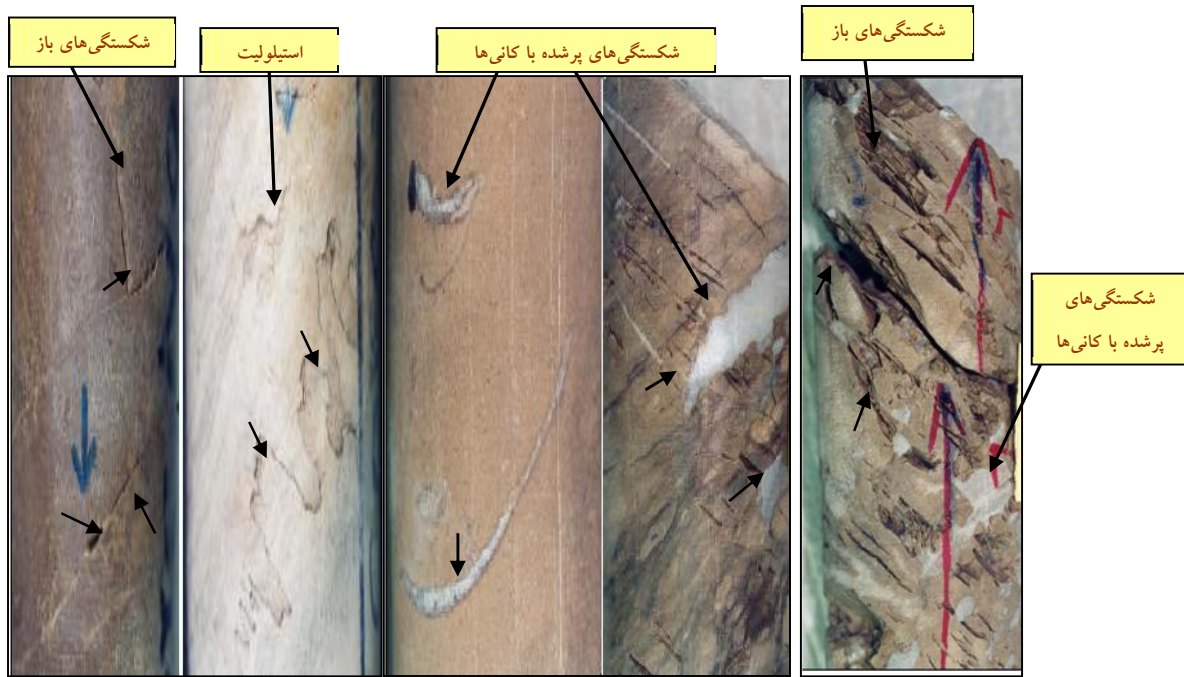
الگوی ۳- شکستگی‌های مورب



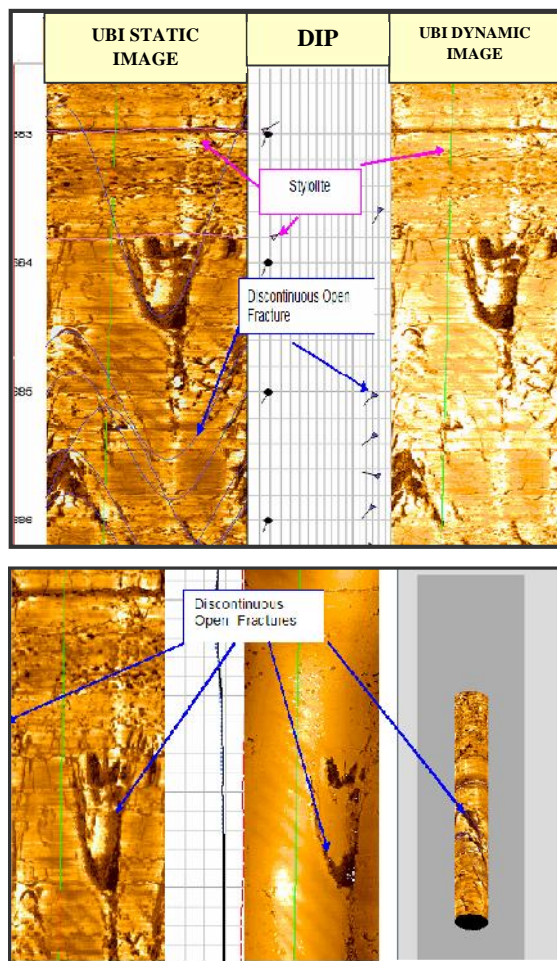
شکل ۳- الف و ب) شکستگی‌های کششی ایجاد شده در حین چین‌خوردگی (محمدیان، ۱۳۸۷)
ج) ۳ الگوی اصلی و عمده شکستگی در چین‌ها (Price, 1966).

۵-۱- بررسی جهت شکستگی‌ها

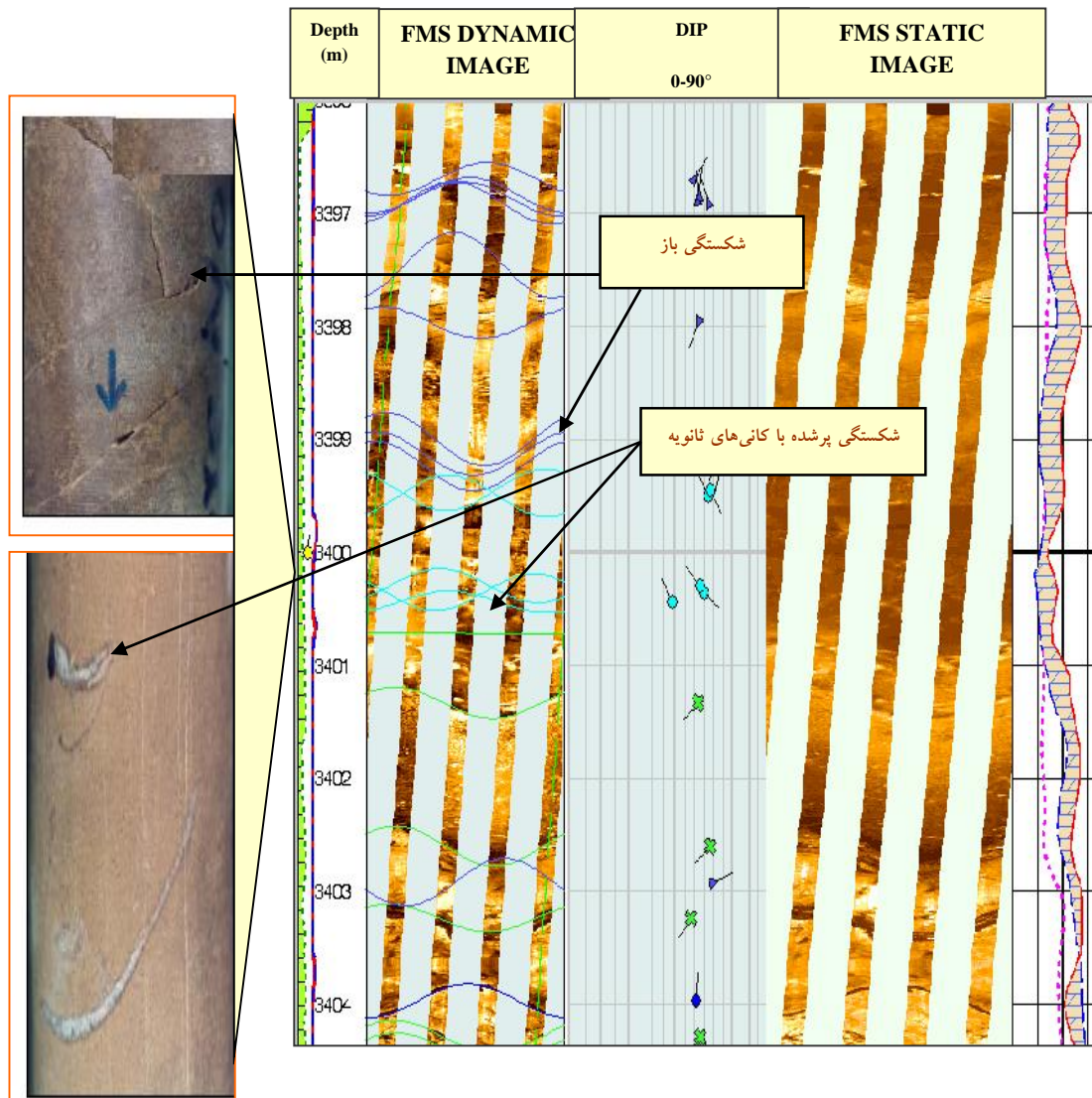
بهترین و واقعی‌ترین اطلاعات شکستگی‌های مخزن را می‌توان با استفاده از مشاهده مستقیم نمونه‌های مغزه گرفته شده در چاه‌ها گردآوری نمود. اما بدلیل مشکلات فراوان در تعیین امتداد و شیب حقیقی شکستگی‌ها همواره امکان‌پذیر نمی‌باشد. در این تحقیق اطلاعات نمونه‌های مغزه ۱۴ حلقه چاه مورد بررسی قرار گرفت و تنها چاه شماره ۱۸۱ دارای مغزه جهت‌دار بود. سپس مقدار شیب و آزمون شکستگی‌ها، لایه‌بندی و سایر عوارض ساختمانی مشخص گردید (شکل ۴). مشاهده تصاویر دیواره چاه حاصله از نمودارهای تصویری، پدیده‌های رسوبی همچون لایه‌بندی متقاطع در لایه‌های ماسه‌ای و استیلولیت‌ها یا شکستگی‌های انحلالی در لایه‌های کربناته، در مناطق مختلف ساختمان مارون مشاهده گردید (اشکال ۵، ۶ و ۷). یکی از ابهامات موجود در تفسیر شکستگی‌های چاه‌های میدان مارون وجود شکستگی‌هایی هم جهت با لایه‌بندی و در بعضی مواقع مقدار شیبی یکسان با لایه‌بندی می‌باشد.



شکل ۴- انواع پدیده‌های مشاهده شده در مغزه‌ها.

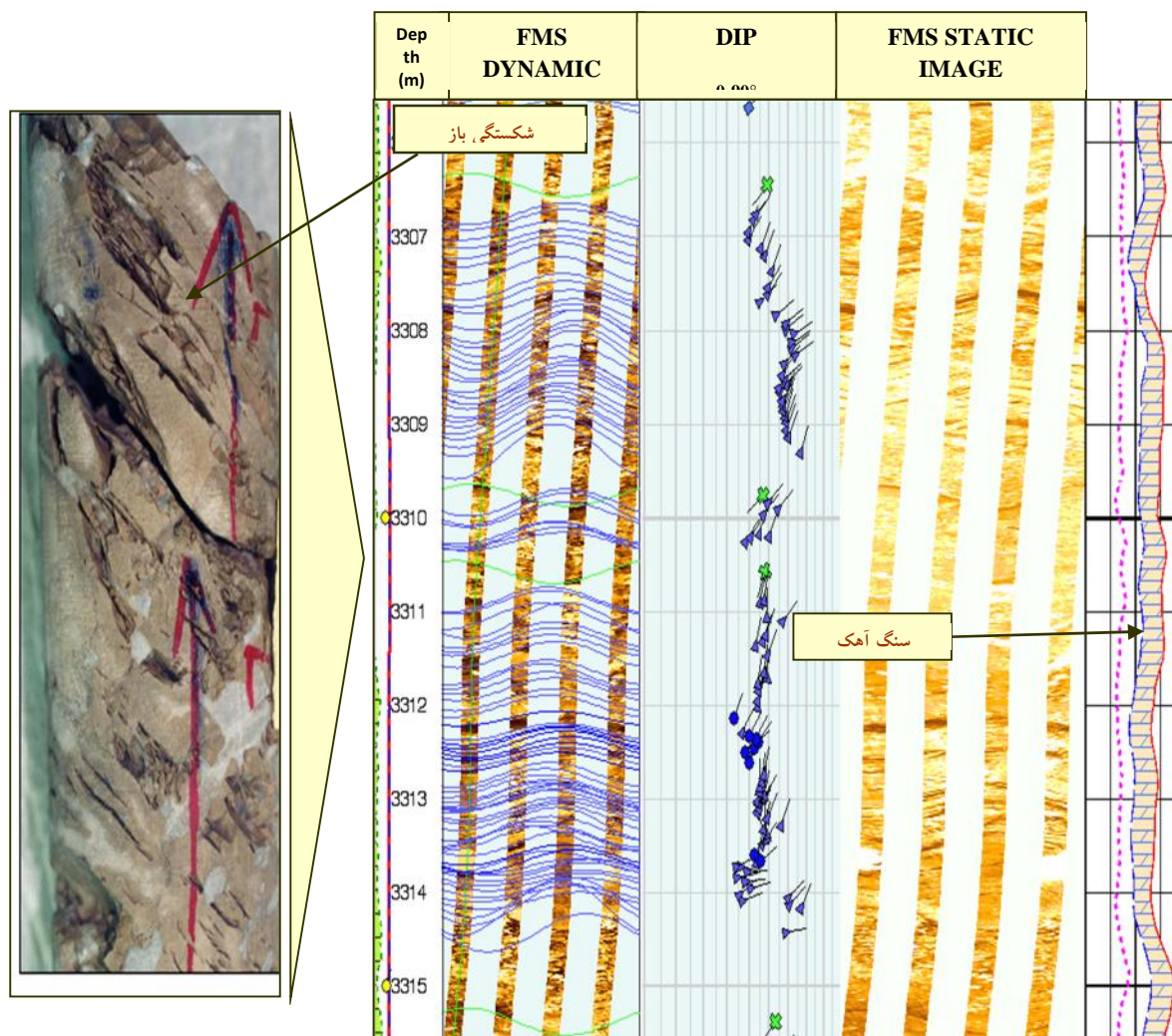


شکل ۵- بالا، نمایش شکستگی‌های باز و شکستگی‌های انحلالی (استیلولیت‌ها) در دیواره چاه مارون ۳۰۵ در تصویر نمودار UBI. در پایین تصاویر سه بعدی چاه مارون ۳۰۵ و وضعیت شکستگی‌های باز آن مشخص شده است.



شکل ۶- نمایش شکستگی‌های باز و بسته در تصاویر دینامیک و استاتیک نمودار FMS از دیواره چاه مارون ۱۸۱ که همخوانی بسیار خوبی با نمونه مغزه گرفته شده دارد.

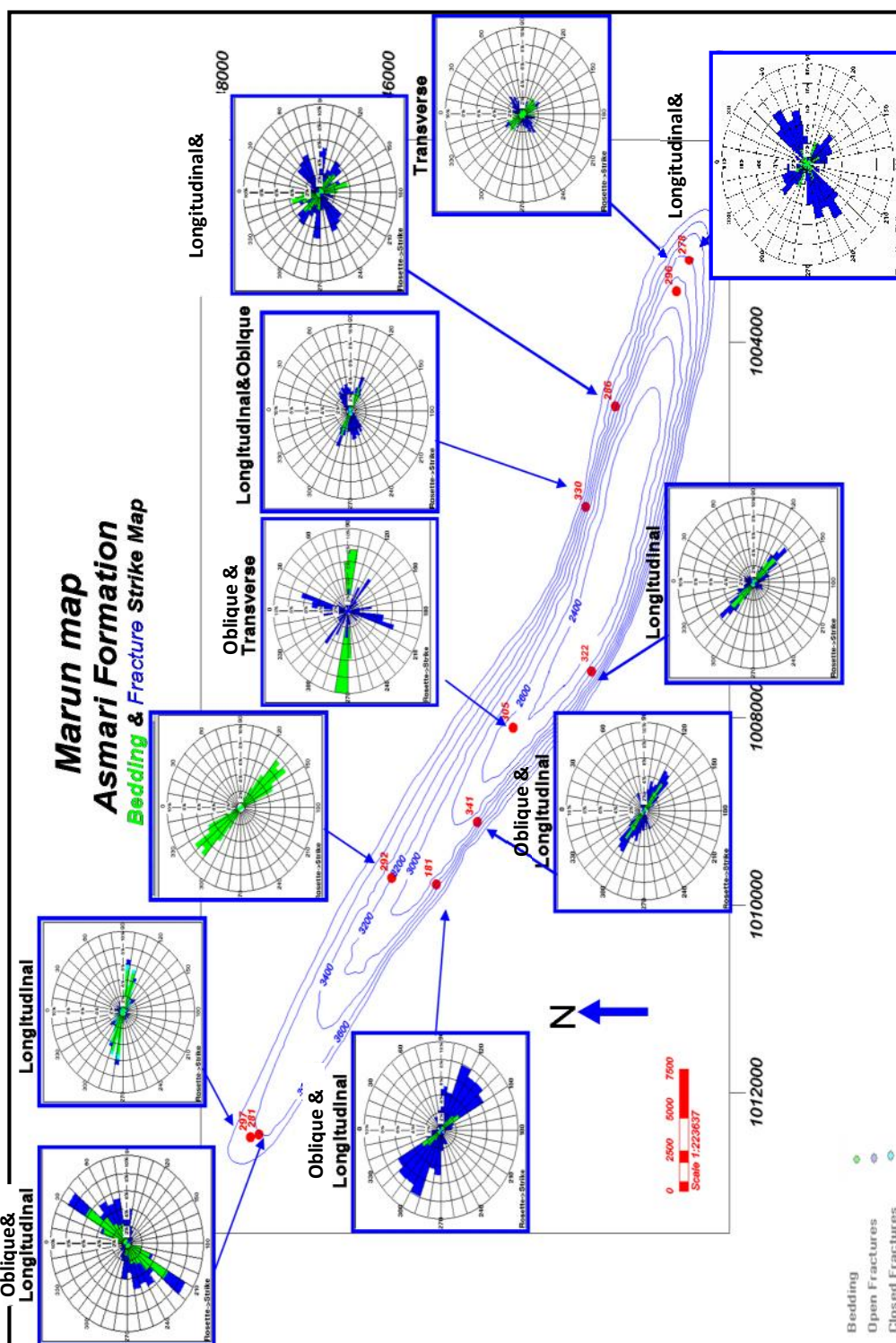
بر اساس نقشه‌های تهیه شده در نواحی واقع در یال جنوبی میدان در محل چاه‌های ۱۸۱، ۳۴۱، ۳۲۲ و چاه ۲۷۸ در دماغه خاوری، امتداد شکستگی‌های غالب جهت $N130^{\circ}E$ نشان می‌دهد، که جزء شکستگی‌های طولی کششی می‌باشند. در صورتیکه در شمال و شمال خاور و مرکز هر دو دسته شکستگی‌های مرتبط با چین خوردگی و خمش بصورت باز دیده می‌شود. بطوریکه در چاه‌های ۳۳۰، ۲۸۶ و ۲۹۶ دسته شکستگی‌های غالب از نوع کشش طولی و عرضی عمود بر لایه بندی و متقاطع دیده می‌شود که نشان دهنده وجود دو سیستم موثر چین خوردگی و خمش می‌باشد (شکل ۸).



شکل ۷- نمایش شکستگی‌های باز در تصاویر دینامیک و استاتیک نمودار FMS از دیواره چاه مارون ۱۸۱ که همخوانی بسیار خوبی با نمونه مغزه گرفته شده دارد.

سازند آسماری شامل تناوبی از لایه‌های آهک ماسه سنگ و شیل می‌باشد. چین خوردگی در این ساختار تحت کنترل لایه‌های آهکی (با توجه به ضخامت زیاد) می‌باشد. ضخامت لایه‌های شیلی در منطقه خط‌الرأس کم بوده و به طرف یال‌ها افزایش می‌یابد. شیب لایه‌ها در این ساختار در قسمت‌های مختلف متفاوت می‌باشد. شیب ساختمانی متغیر در محدوده ۶۰ تا ۷۰ درجه در انتهای یال غربی، یال جنوبی و مرکزی و ۱۵ تا ۲۰ درجه در یال شمالی که ناشی از چرخش محور تاقدیس مارون در انتهای شرقی به طرف شمال که در نتیجه آن ۲۲ درجه از حالت اولیه منحرف گردیده است. در اثر اعمال تنش به لایه‌های رسوبی ابتدا کوتاه شدگی و سپس چین خوردگی رخ می‌دهد که این موضوع باعث تشکیل تاقدیس مارون گردیده است. با توجه به ساختار زیرسطحی میدان مارون، این ساختار یک ساختار ساده نبوده و محور چین دچار انحراف گردیده است که در این مقاله از اصطلاح خمش برای بیان این موضوع استفاده گردیده است. اگر در منطقه فقط یک چین خوردگی ساده رخ دهد بایستی شاهد نظم خاصی در توزیع شکستگی‌های بوجود آمده مرتبط با شکستگی‌ها بود. نتایج مطالعات نشان می‌دهد نه تنها نظم خاصی در توزیع شکستگی‌ها در منطقه دیده نمی‌شود بلکه تراکم شکستگی‌ها نیز در نقاط مختلف میدان متفاوت است. در قسمتی از میدان که دچار خمش گردیده است تغییر سیستم شکستگی و تراکم آنها را می‌توان

مشاهده نمود. علاوه بر نمودارهای تصویری اطلاعات مربوط به تولید چاه‌های حفاری شده در منطقه خمش بیانگر این موضوع می‌باشند.



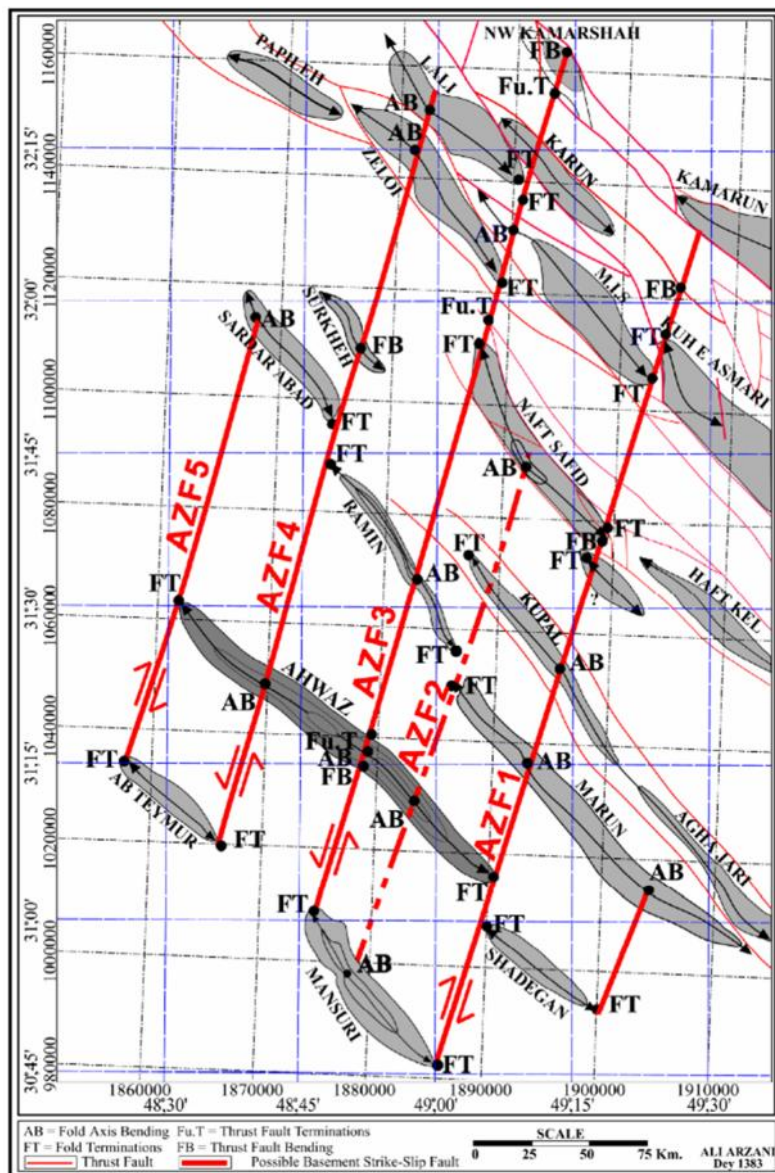
شکل ۸- نمایش امتداد غالب لایه‌بندی (سبز) و شکستگی‌های (آبی) مخزن آسماری در چاه‌های حفاری شده (نقاط قرمز) میدان مارون با استفاده از اطلاعات

نمودارهای تصویرگر.

یکی از دلایل مطرح شده برای خمش نقش گسل‌های پی سنگی است که با توجه به مطالعات انجام شده در منطقه در ایجاد حادثه تکتونیک خمش، گسل‌های پی سنگی نقش مهمی را داشته‌اند (شکل ۹). گسل‌های پی سنگی دارای روند شمالی

جنوبی با امتداد E017N می‌باشند (ارزانی، ۱۳۸۷). ایجاد چین‌هایی با محور سینوسی بیانگر توام فشار و برش در زمان تشکیل می‌باشد.

این گسل‌ها در شکل‌گیری تاقدیس مارون نقش فعالی داشته‌اند که حداقل از دو جهت می‌توان این فعالیت را اثبات نمود. اول اینکه شکل کلی ساختار به گونه‌ای می‌باشد که نشان دهنده عملکرد فعالیت یک گسل شمالی جنوبی توام با چین خوردگی می‌باشد. نکته دوم عدم وجود گاز H_2S در کلاهک گازی این میدان است که در میداین مجاور این گاز در کلاهک گازی مشاهده می‌شود که نشان دهنده عدم ارتباط این میدان با میداین مجاور است به طوری که این میدان در اثر عملکرد گسل‌های پی‌سنگی بالاتر از میداین مجاور قرار گرفته است.

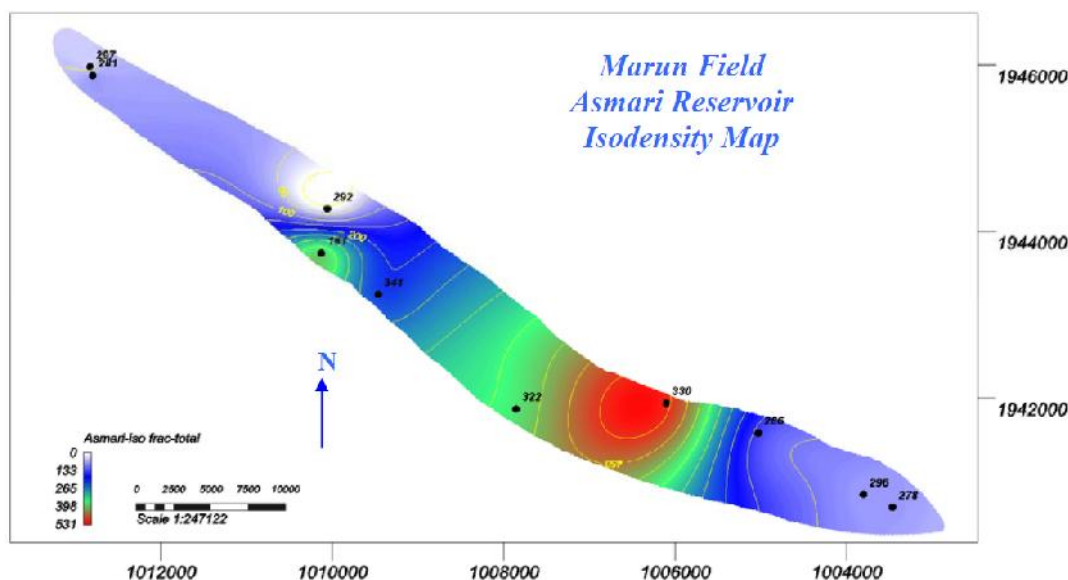


شکل ۹- پدیده‌های ساختمانی موجود در افق آسماری محدوده دزفول شمالی (بر اساس داده‌های لرزه‌ای) که یک سیستم گسلی پی‌سنگی احتمالی امتداد لغز را نشان می‌دهد (ارزانی، ۱۳۸۷).

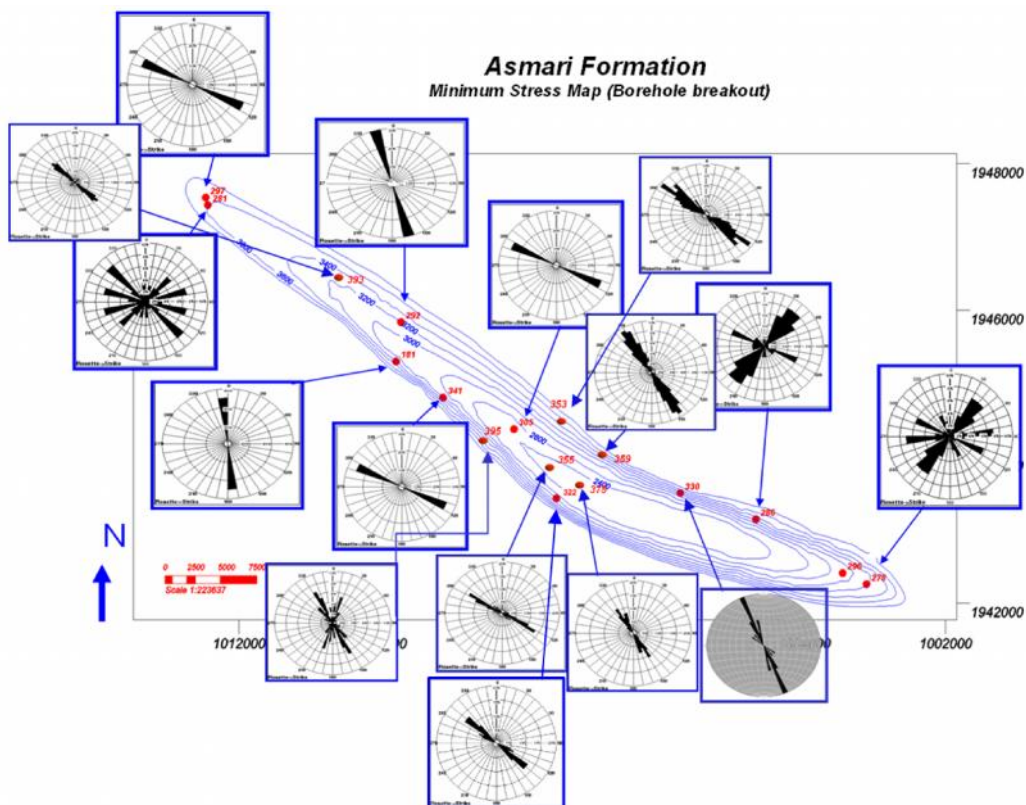
براساس نقشه‌های امتداد و شکستگی‌های لایه‌های یک تا چهار سازند آسماری (که نشان‌دهنده تغییرات روند غالب شکستگی‌ها در فاصله عمقی چاه‌های حفاری شده در یال جنوبی است) می‌توان علاوه بر شکستگی‌های طولی، شکستگی‌های عرضی و مقاطع را در لایه‌های پائین‌تر مشاهده کرد. بطوریکه در چاه ۳۲۲ نزدیک به منطقه خمش، شکستگی‌های غالب در لایه ۳

جزء دسته شکستگی‌های عرضی بوده که به همراه اندکی شکستگی طولی در این لایه مشخص شده است. همچنین در چاه ۱۸۱ واقع در یال جنوبی بخش‌های باختری تاقدیس در زون‌های ۲ و ۳ بتدریج دسته شکستگی‌های عرضی و متقاطع جزء شکستگی‌های غالب نسبت به لایه یک در این چاه مشخص شده اند.

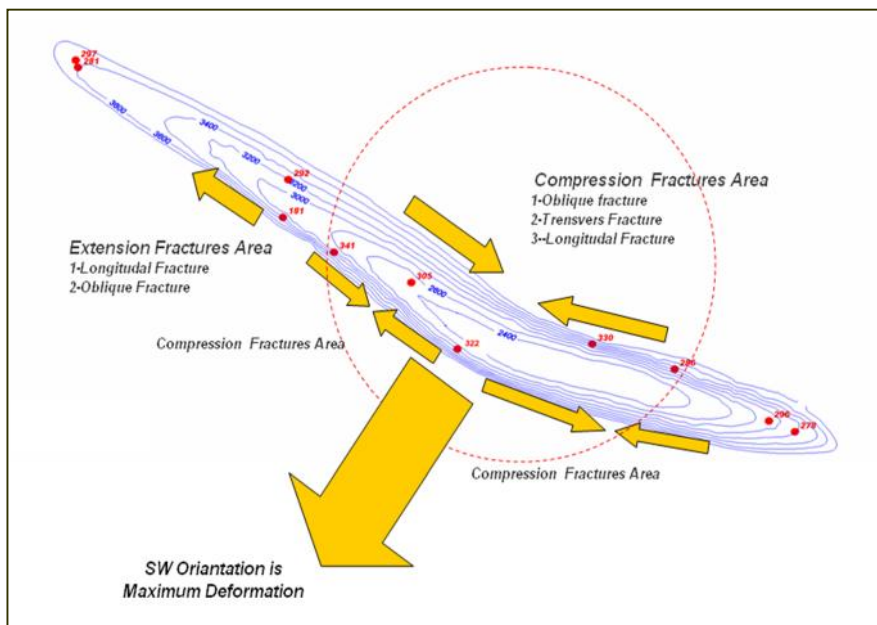
براساس نقشه‌های هم تراکم شکستگی‌های سازند آسماری، امتداد شکستگی و لایه‌بندی در نواحی واقع در یال جنوبی میدان در محل چاه‌های ۱۸۱، ۳۴۱، ۳۲۲ و چاه ۲۷۸ در دماغه خاوری امتداد غالب در جهت N۱۳۰E داشته، و جزء شکستگی‌های طولی کششی هستند (شکل ۱۰). در صورتیکه در شمال، شمال خاور و مرکز هر دو دسته شکستگی‌های مرتبط با چین‌خوردگی و خمش دیده می‌شود. بطوریکه در چاه‌های ۳۳۰، ۲۸۶ و ۲۹۶ دسته شکستگی‌های غالب از نوع کشش طولی و عرضی عمود بر لایه‌بندی و متقاطع دیده می‌شود که نشان دهنده وجود دو سیستم موثر چین‌خوردگی و خمش می باشد. شکستگی‌های خاوری-باختری که بیشتر در دماغه باختری در محل چاه‌های ۲۸۱ و ۲۹۷، در محور ساختمان در بخش مرکزی محل چاه ۳۰۵، در یال شمالی چاه ۲۸۶، در محل چاه ۲۷۸ در دماغه خاوری، چاه ۱۸۱ در یال جنوبی ساختمان دیده می‌شوند، به نظر می‌رسد این شکستگی‌های سیستماتیک در ارتباط با فعالیت‌های ناحیه‌ای بوده و بیانگر تغییرات جانبی توسعه شکستگی‌ها از محور به سمت یال‌ها می‌باشند (براساس تفسیر نمودارهای تصویری در چاه‌ها) بطوریکه در ناحیه خمش تحت تأثیر فشارش بیشتر شکستگی‌های تراکمی دیده می‌شود (نواحی مرکزی و شمال خاوری محل چاه‌های ۳۳۰ و ۲۸۶) در صورتیکه به سمت خارج انحنا تحت تأثیر نیروی کششی شکستگی‌های طولی و بزرگ ایجاد می‌شود. در یال جنوبی در محل چاه‌های ۱۸۱، ۳۴۱ و ۳۲۲، بنابراین مراحل تکاملی تشکیل ساختار با توجه به فشار وارده می‌تواند از عوامل کنترل شکستگی در مخزن باشد. در تمامی نقاط ساختمان، جهت حداقل تنش NW-SE می‌باشد و تنها در محدوده دماغه‌های خاوری و باختری و یال شمال‌خاوری در محل چاه ۲۸۶ تغییرات فراوان جهت تنش را در بازه زمانی حفاری چاه‌های میدان مارون مشاهده می‌کنیم که این امر را می‌توان به فعالیت‌های منطقه‌ای بعد از چین‌خوردگی نسبت داد (اشکال ۱۱ و ۱۲).



شکل ۱۰- نقشه هم تراکم شکستگی‌های سازند آسماری در چاه‌های (نقاط تیره) میدان مارون. فراوانی بالای شکستگی‌ها در منطقه خمش و یال جنوب باختری با حداکثر ۵۳۱ عدد مشخص شده است (محمدیان، ۱۳۸۷).



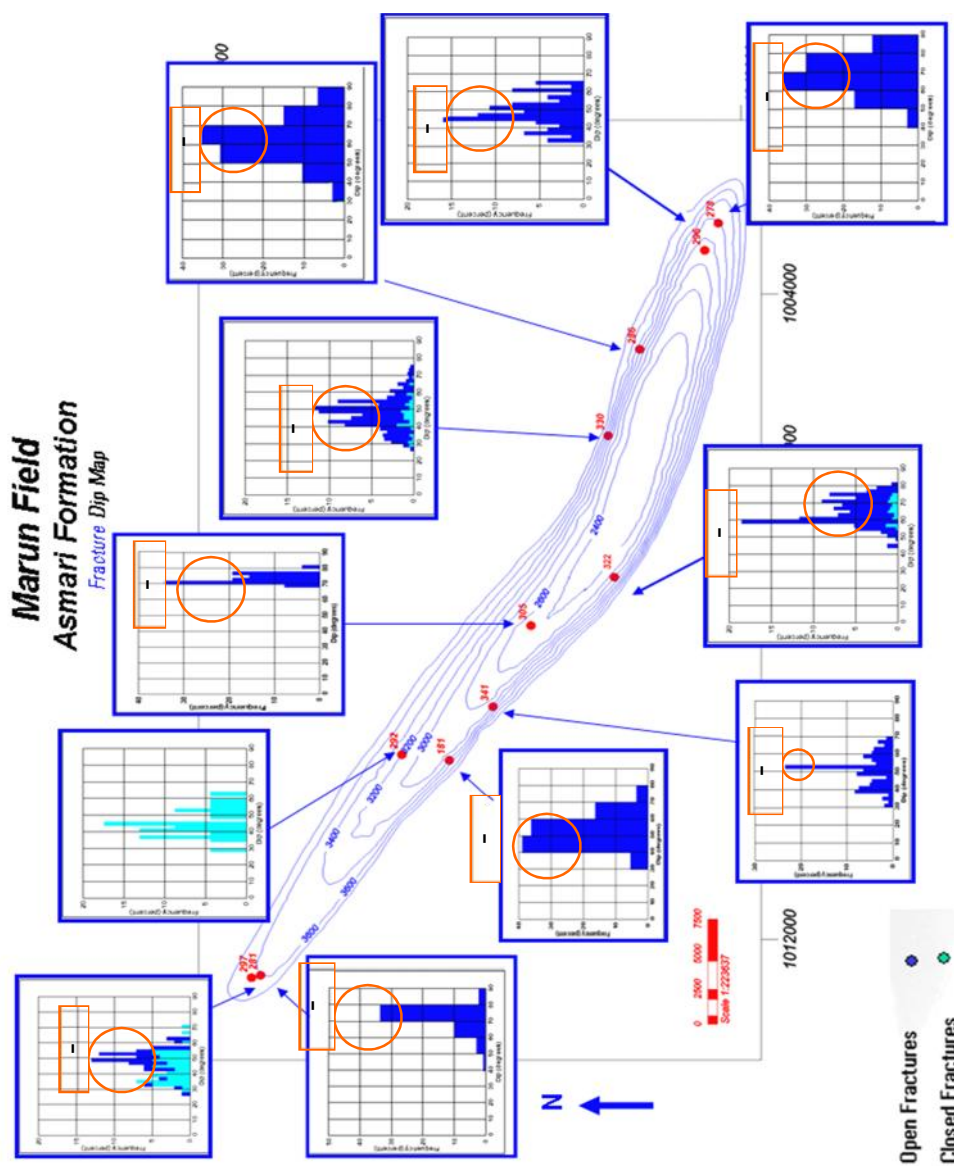
شکل ۱۱- نمایش جهت حداقل تنش افقی در چاه‌های (نقاط قرمز) مورد مطالعه میدان مارون بر اساس نتایج تفسیر نمودارهای تصویرگر (فارسی‌مدان و همکاران، ۱۳۹۲).



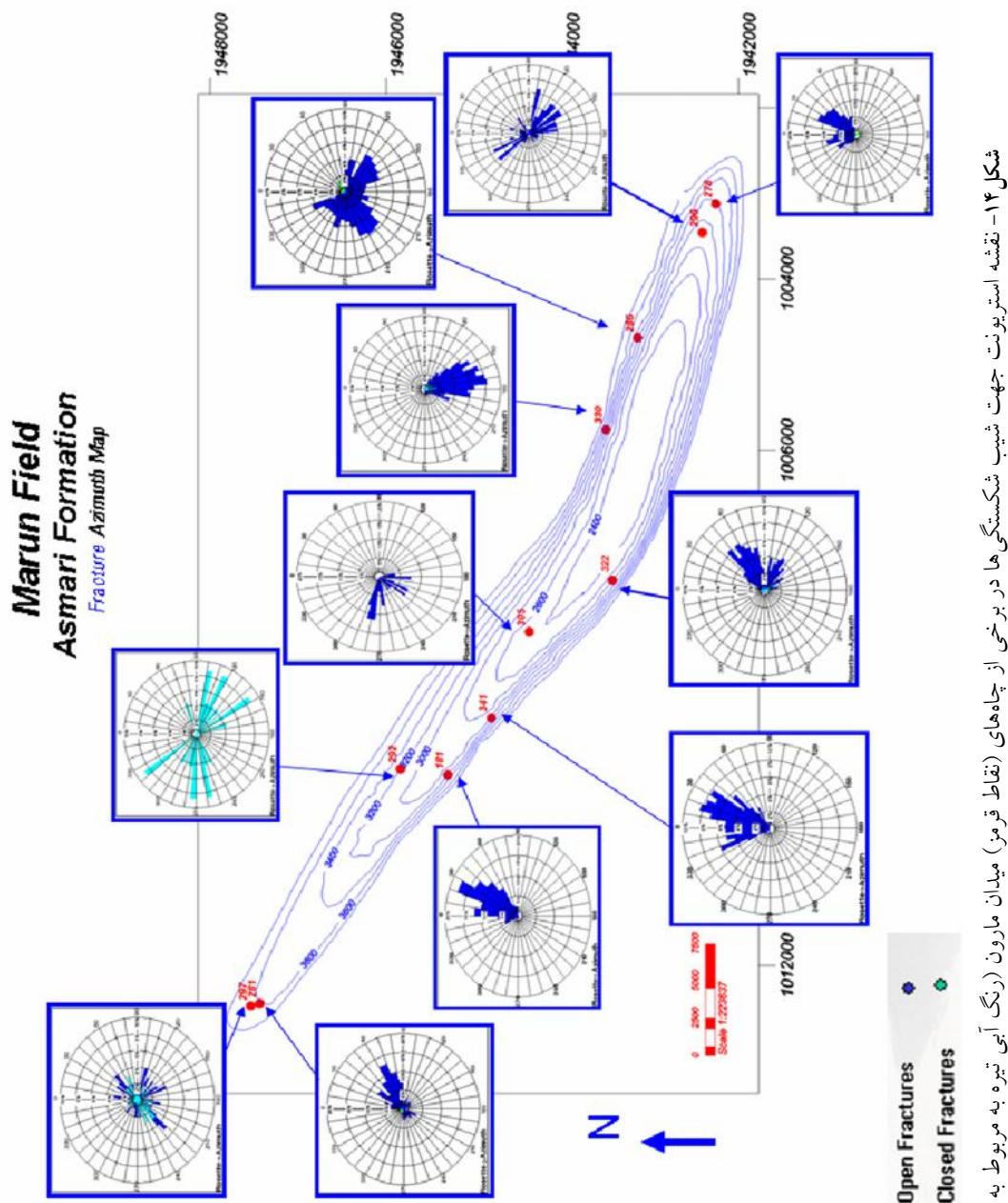
شکل ۱۲- نمایش محدوده حضور شکستگی‌های فشارشی و کششی در تاقدیس مارون که نشان دهنده عملکرد توام دو سیستم تراکمی ناحیه‌ای که به طور عمده در شمال خاور تاقدیس و دیگری که به دنبال چین‌خوردگی بوجود آمده و بیشتر در یال جنوبی دیده می‌شوند.

هیستوگرام‌های (براساس نتایج تفسیر نمودار تصویری درچاه‌ها) مربوط به جهات شیب سطوح شکستگی‌ها و خطوط کنتوری جهت شکستگی‌ها و موقعیت آنها نسبت به لایه‌بندی نشان می‌دهد که اکثر شکستگی‌های مخزن آسماری لایه‌بندی را قطع می‌کنند. همچنین بیانگر این است که، میزان شیب شکستگی‌ها در چاه‌های میدان مارون بیشترین شیب شکستگی‌ها را در دماغه‌های خاوری و باختری (محل چاه‌های ۲۷۸، ۲۸۱) است (اشکال ۱۳ و ۱۴).

برای یافتن نتیجه بهتر و قابل قبول‌تر در این پژوهش جهت مطالعه شکستگی‌های سطحی در این ناحیه از نتایج حاصل از مطالعات سطحی در رخنمون‌های سازند آسماری استفاده و الگوی شکستگی‌های سطحی و زیرسطحی در کنار یکدیگر قرار گرفته تا در صورت وجود شباهت، ارتباطی بین آنها مشخص گردد. همچنین در این تحقیق سعی شده است نتایج حاصل از مطالعه شکستگی‌های سطحی در تاق‌دیس خويز (بصورت تاق‌دیس رورانده غیرمتقارن با امتداد محوری شمال‌غربی - جنوب‌شرقی بطول ۴۳ و عرض ۲ کیلومتری شمال‌غرب ساختمان گچساران و ۱۲ کیلومتری شمال شهرستان بهبهان) که در آن سازند آسماری دارای رخنمون سطحی می‌باشد و نمودارهای تصویری زیرسطحی در میدان مارون، جهت مقایسه امتداد شکستگی‌های سطحی و زیرسطحی استفاده شود (Statoil, 2003).



شکل ۱۳- نقشه هیستوگرام میزان شیب شکستگی‌ها در چاه‌های (نقاط قرمز) میدان مارون (رنگ آبی تیره به مربوط به شکستگی‌های باز و رنگ آبی روشن مربوط به شکستگی‌های بسته می‌باشد).



شکل ۱۴- نقشه استریونوت جهت شیب شکستگی‌ها در برخی از چاه‌های (نقاط قرمز) میدان مارون (رنگ آبی تیره به مربوط به شکستگی‌های باز و رنگ آبی روشن مربوط به شکستگی‌های بسته می‌باشد).

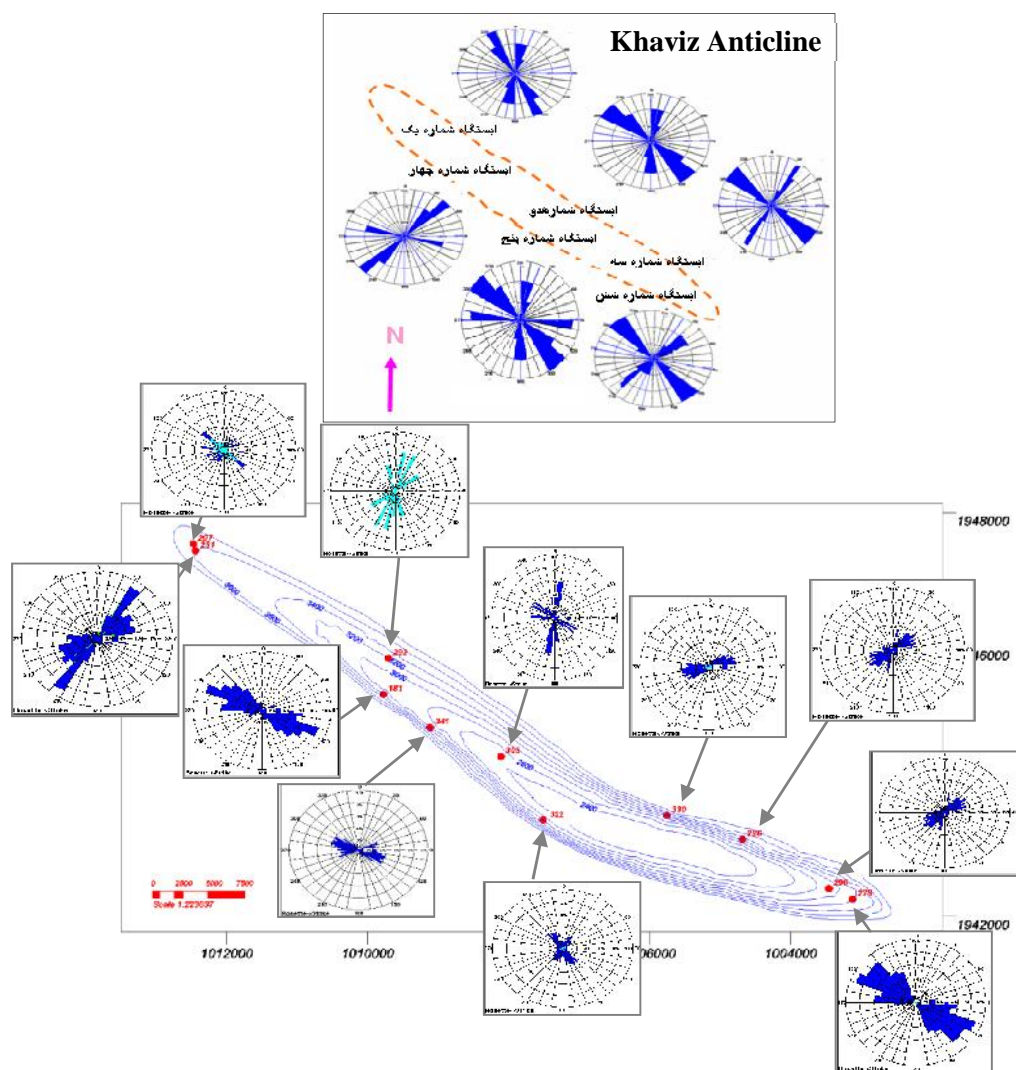
در زمان چین خوردگی نمودارهای گل سرخی شکستگی‌های تاقدیس خویز در ایستگاه‌های برداشت شده سطحی را با نمودار گل سرخی شکستگی‌های زیرسطحی سازند آسماری براساس نتایج نمودارهای تصویری ۱۱ حلقه چاه مارون مقایسه گردید (شکل ۱۵)، جهت‌گیری غالب شکستگی‌ها در ایستگاه‌های سطحی ۱ تا ۳ کاملاً در امتداد محور تاقدیس خویز و هم جهت با روند ساختمان‌های ناحیه چین خورده زاگرس می‌باشد در ایستگاه‌های سطحی ۵ و ۶ در یال جنوب خاوری نتایج برداشت‌های سطحی امتداد شکستگی‌های غالب را با روندی نزدیک به محور تاقدیس خویز با اندک چرخشی در خلاف عقربه‌های ساعت نشان می‌دهد. بعلاوه یک جهت عمده فرعی در برداشت‌های سطحی ایستگاه ۴ واقع در بخش شمال باختری یال جنوبی دیده می‌شود که کاملاً عمود بر محور تاقدیس سطحی می‌باشد. پنج دسته شکستگی اصلی در برداشت‌های سطحی شکستگی‌ها با امتدادهای N5E, N25E, N45E, N125E, N160E مشخص شده‌اند براساس داده‌های نمودارهای تصویری ۱۶ حلقه چاه میدان مارون دسته شکستگی‌های غالب با امتدادهای N155E, N130E, N95E, N60E, N30E دیده می‌شوند. در یال شمالی تاقدیس

بیرون زده خويز سه دسته شکستگی با امتدادهای N20E, N47E, N125E مشخص شده‌اند که می‌توان با سه دسته شکستگی زیرسطحی در یال شمالی تاقدیس مارون با امتدادهای N20E, N55E, N 125E مقایسه کرد که هماهنگی خوبی را نشان می‌دهند. در صورتیکه در یال جنوبی وضعیت متفاوتی را می‌توان دید بطوریکه دسته شکستگی‌های مشخص شده در یال جنوبی تاقدیس سطحی خويز با امتدادهای N160E, N135E, N53E, N94E, N30E, N45E جهت‌گیری متفاوتی را در مقایسه با امتدادهای غالب شکستگی‌های زیرسطحی تاقدیس مارون در یال جنوبی N95E, N130E, N30E, N60E نشان می‌دهند و تنها دو دسته شکستگی N30E, N94E با روندی یکسان مشخص شده‌اند. البته این تضاد در جهت‌گیری‌های اغلب شکستگی‌های سطحی و زیرسطحی می‌تواند به علت زمان‌های متفاوت شکل‌گیری چین‌ها و عوامل ساختمانی متفاوت در بروز شکستگی‌ها پدیدار شود. (McQuillan, 1991) نیز به نتایج مشابهی از مطالعه شکستگی‌های سطحی و زیرسطحی رسیده بود و علت این ناهماهنگی‌ها را در پیچیدگی‌های ساختمانی تاقدیس‌های زیرزمینی، حذف طبقات فوقانی در رخنمون‌های سطحی و در نتیجه تفاوت عمده در میدان‌های تنش همه‌جانبه در تاقدیس‌های مدفون نسبت به بیرون زده و همچنین اختلاف سنگ‌شناسی و زاویه اصطکاک داخلی را تفاوت در موقعیت ساختاری کمر بند چین خورده و در نتیجه آن عدم تطابق انبوهی شکستگی‌ها و شدت آنها در سطح و زیرزمین می‌داند.

علت تفاوت دسته شکستگی‌ها در یال جنوبی تاقدیس‌های خويز و مارون ناشی تأثیر عوامل مختلفی است که می‌توان به مهمترین آن‌ها اشاره داشت:

الف) گسل طولی یال جنوبی: این گسل‌ها به موازات میدان‌های مارون و خويز و به طول کل میدان در مقاطع سائیزمیک شناسایی شده‌اند (ارزانی و همکاران، ۱۳۸۷). این گسل‌ها از نوع معکوس با مولفه امتداد لغز چپگرد می‌باشند. احتمالاً پس از تشکیل هسته چین‌ها و در پی ادامه فشار وارده از طرف صفحه عربی این گسل‌ها تشکیل شده‌اند. عملکرد این گسل‌ها در میدان‌های خويز و مارون به گونه‌ای است که در سطح چین هیچ آثاری از آن‌ها قابل مشاهده نیست (عکس‌های هوایی و ماهواره‌ای فعالیتی را نشان نمی‌دهند). حداکثر فعالیت این گسل‌ها در سازند هرمز بوده و به طرف بالا از فعالیت آن‌ها کاسته می‌شود و در نهایت در سازند گچساران ناپدید می‌گردند و به سطح نمی‌رسند. در یال شمالی این گسل‌ها را شاهد نبوده یا در صورت وجود عمق و فعالیت آنها خیلی کمتر از گسل‌های یال جنوبی است. بنابراین عملکرد این گسل‌ها می‌تواند یکی از دلایل عمده در تفاوت جهت‌گیری دسته شکستگی‌ها در یال جنوبی باشد.

ب) شیب زیاد یال جنوبی میدان مارون: تاقدیس مارون یک چین نامتقارن بوده به طوری که شیب یال جنوبی آن از یال شمالی بیشتر است. با توجه به اینکه در ساختار چین، سازند تبخیری گچساران وجود دارد که مکانیسم متفاوتی نسبت به لایه‌های آهکی و ماسه‌سنگی نشان می‌دهد، لذا اگر شیب لایه‌ها زیاد باشد لایه‌های تبخیری گچساران تمایل بیشتری برای مهاجرت داشته که این مهاجرت می‌تواند بر سیستم شکستگی‌های سطحی، ضخامت لایه‌ها، انحنای محور چین (Curvature) و... تأثیرگذار باشد.



شکل ۱۵- مقایسه نمودارهای گل سرخی امتداد شکستگی‌ها در ایستگاه‌های برداشت سطحی تاقدیس خوریز (با نمودارهای گل سرخی رنگ آبی تیره به مربوط به شکستگی‌های باز و رنگ آبی روشن مربوط به شکستگی‌های بسته می‌باشد، Statoil, 2003).

۴. نتیجه‌گیری

۱- میدان مارون تاقدیسی است با پیچیدگی‌های ساختمانی فراوان لذا منحصراً یک ساز و کار نمی‌تواند عامل چین‌خوردگی در این ناحیه باشد بلکه معمولاً بصورت توأم عمل نموده است. ساز و کار چین‌خوردگی در این ناحیه را می‌توان ترکیبی از دو ساز و کار چین‌خوردگی خمشی- لغزشی و چین‌خوردگی با سطح خنثی دانست. وجود لایه‌های انعطاف‌پذیر شیل و مارن بصورت متناوب در سازند آسماری میدان مارون (بخصوص در زون‌های ۴ و ۵) در طی چین‌خوردگی می‌تواند موجب لغزش لایه‌ها از یال‌ها به سمت لولای چین شده و در نتیجه یال‌ها و سطوح لغزش نیز دچار تراست شدگی شده‌اند.

۲- سازند آسماری میدان مارون در لایه‌های ۱، ۲ و ۳ بیشتر از جنس آهک‌های دولومیتی بوده که به‌ویژه لایه یک ۹۰ درصد دولومیتی می‌باشد. بنابراین تراکم شکستگی‌ها بخصوص در زون یک نسبت به لایه‌های پائینی زون‌های ۴ و ۵ که به مقدار شیل و مارن لایه‌های آهکی افزوده می‌شود در نتیجه شکنندگی لایه‌ها کمتر شده و شکستگی‌ها میکروسکوپی بیشتر دیده می‌شوند. بالآمدگی مرکزی تا خاوری مخزن آسماری در میدان مارون باعث شده است که توسعه شکستگی‌های زون چهار در نیمه خاوری نسبت به نیمه باختری فراوان‌تر و در نتیجه تراکم شکستگی‌های بیشتری را در این قسمت مشاهده کنیم.

- ۳- براساس داده‌های آنالیز مغزه حداکثر تراکم شکستگی‌ها در لایه‌های ۱، ۲ و ۳ مشاهده گردید، و شکستگی‌های باز در این میدان بیشتر در یال جنوبی قطاع‌های ۳، ۴ و ۶ مشخص شده‌اند.
- ۴- میدان مارون چاه ۱۸۱، تنها چاهی است دارای مغزه جهت‌یافته در لایه‌های مخزنی ۱، ۲ و ۳ می‌باشد. دو دسته شکستگی غالب در امتدادهای N99E, N68E به شکل متمرکز در زون یک دیده می‌شود که این شکستگی‌ها اکثراً باز و در بعضی از قسمت‌ها توسط کانی‌های انیدریت و کلسیت پر شده‌اند. شکستگی‌های حفره‌ای (Vuggy Fracture) که در اثر پدیده انحلال بطور محلی تشکیل شده‌اند در این چاه قابل مشاهده هستند.
- ۵- فراوانی شکستگی‌ها (بر اساس تفسیر نمودارهای تصویری درچاه‌ها) در یال جنوبی و شمال خاوری، نظریه وقوع دو حادثه تکتونیک چین‌خوردگی و خمش که بعدها در اثر فعالیت‌های احتمالی در طول گسل‌های امتداد لغز شمالی- جنوبی تحت تأثیر نیروهای تراکمی ایجاد شده است را قوت می‌بخشد که در قسمتی از میدان که دچار خمش گردیده است تغییر سیستم شکستگی و تراکم آنها را می‌توان مشاهده نمود.
- ۶- یکی از دلایل مطرح شده برای خمش نقش گسل‌های پی‌سنگی است که با توجه به مطالعات انجام شده در منطقه در ایجاد حادثه تکتونیک چین‌خوردگی، گسل‌های پی‌سنگی نقش مهمی را داشته‌اند. گسل‌های پی‌سنگی دارای روند شمالی جنوبی با امتداد E017N می‌باشند.
- ۷- علت تفاوت دسته شکستگی‌ها در یال جنوبی تاقدیس‌های خویز و مارون را می‌توان به عواملی همچون گسل طولی یال جنوبی که به موازات میدان‌های مارون و خویز (به طول کل میدان در مقاطع سائزیمیک شناسایی شده‌اند) که از نوع معکوس با مولفه امتداد لغز چپگرد می‌باشند و همچنین شیب زیاد یال جنوبی میدان مارون (به طوری که از شیب یال شمالی بیشتر است) نسبت داد.
- ۸- با توجه به اینکه در ساختار چین، سازند تبخیری گچساران وجود دارد که در زمان چین خوردگی مکانیسم متفاوتی نسبت به لایه‌های آهکی و ماسه‌سنگی نشان می‌دهد، لذا اگر شیب لایه‌ها زیاد باشد لایه‌های تبخیری گچساران تمایل بیشتری برای مهاجرت داشته که این مهاجرت می‌تواند بر سیستم شکستگی‌های سطحی، ضخامت لایه‌ها، انحنای محور چین (Curvature) و... تأثیرگذار باشد.

تشکر و قدردانی

از آقایان دکتر ندیمی، دکتر معلمی و مهندس شاکری خاطر داوری مقاله سپاسگزاری می‌گردد.

۶. منابع

- ارزانی، ع، ۱۳۸۷، تحلیل ساختاری میدان نفتی اهواز با نگرشی ویژه بر شکستگی‌های آن، گزارش شماره پ-۶۳۹۷، شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب، اهواز، ایران.
- ستودنیا، ا. و.، پری، تی جی.، ۱۳۶۶، شرکت ملی نفت ایران نقشه ۱/۱۰۰۰۰۰ مارون.
- شیخ زاده، ح.، ۱۳۸۷، مطالعه جامع مخزن آسماری میدان مارون، شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب، اهواز، ایران.
- ظهراب زاده، م.، ۱۳۸۸، تحلیل سیستماتیک شکستگی‌های مخزن آسماری در یکی از میداین نفتی جنوب غرب ایران، مجله اکتشاف و تحلیل شماره ۶۳، صفحه ۵۴-۴۲.
- فارسی مدان، م.، مهدور، م. ر.، و محمدیان، ر.، ۱۳۹۲، بررسی عملکرد و تعیین جهت تنش برجا در سازند مخزنی آسماری میدان نفتی مارون (براساس نتایج تفسیر نمودارهای تصویرگر)، سی‌ودومین گردهمایی و نخستین کنگره بین‌المللی تخصصی علوم زمین، اهواز، ایران.
- محمدیان، ر.، ۱۳۸۷، گزارش تجزیه و تحلیل شکستگی‌های میدان مارون، شرکت ملی نفت ایران، گزارش شماره پ-۶۲۸۱.
- مطیعی، ه.، ۱۳۸۲، زمین‌شناسی ایران (چینه‌شناسی زاگرس)، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- میرزاقلی‌پور، ع.، و حقی، ع.، ۱۳۶۹، مطالعه زمین‌شناسی میدان نفتی مارون، اداره کل زمین‌شناسی گسترشی، شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب، گزارش شماره پ-۴۲۱۰، صفحه ۵۵.
- AGARD, P., OMRANI, J., JOLIVET, L., WHITECHURCH, H., VRIELYNCK, B., SPAKMAN, W., MONIE, P., MEYER, B., and WORTEL, R., 2011, Zagros orogeny: a subduction-dominated process: *Geology Magazine, Cambridge University Press (CUP)*, **148** (5-6), 692-725.
- BEORDENAVE, 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.
- BERBERIAN, M., 1976, Contribution to the Seismotectonics of Iran, Rep. 11, publ: *Geological Survey of Iran*, **39**, 516.
- BERBERAIN, M., 1995, Master blind thrust fault hidden under the Zagros folds: Active basement tectonics and surface morphotectonics: *Tectonophys*, **241**, 143-224.
- FALCON, N., 1974, Southern Iran: Zagros Mountains. In *Mesozoic-Cenozoic Orogenic Belts: Data for orogenic studies* (Ed. A. M. Spencer): *Geological Society of London, Special Publication*, **4**, 199-211.
- FOSSON, H., 2010, *Structural Geology: Cambridge University Press, New York*.
- LETURMY, P., MOLINARO, M., FRIZON DE LAMOTTE, D., 2010, Structure timing and morphological signature of hidden reverse basement faults in the Fars Arc of the Zagros (Iran). In *Tectonic and Stratigraphic Evolution of Zagros and Makran during the Mesozoic– Cenozoic* (Eds P. Leturmy and C. Robin): *Geological Society of London, Special Publication*, **330**, 121-38.
- MATTFNER, J., and OZKAYA-SAIT, I., 2002, Fracture Connectivity from fracture intersections in borehole images logs. *Pergamoon publishing, USA*.
- MCQUILLAN, H., 1991, The Role Of Basement Tectonics in the Control of Sedimentary Facies: *Journal of Southeast Asian Earth Sciences*, **5**, 453-463.
- MOUTHEREAU, F., LACOMBE, O., and MEYER, B., 2006, The Zagros folded belt (Fars, Iran): constraints from topography and critical wedge modeling: *Geophysical Journal International*, **165**, 336-56.
- NELSON, R.A., 1985, *Geologic Analysis of Naturally Fractured Reservoir: Gulf publishing Company, Houston, Texas, USA*, 320.

- NELSON, R.A., 2001, Geologic analysis of naturally fractured reservoirs: *Gulf publishing, Houston, Texas, Contr, in petrol. Geology & Eng., 2nd ed.*, 332.
- PRENSKY, S.E., 2008, Bibliography of well-log applications, annual update: *The Log Analyst*, **31**(6), 395-424.
- PRICE, N.J., 1990, Fault and joint development in brittle and semi-brittle rocks: *Pergamon, Oxford*.
- SARKARINEJAD, K., and GHANBARIAN, M.A., 2014, The Zagros hinterland fold-and thrust belt in-sequence thrusting: *Journal of Asian Earth Sciences*, **85**, 66-79.
- SCHLUMBERGER, 2003, Using Borehole Imagery to reveal key Reservoir Features: *Reservoir Optimization Conference, Tehran, Iran*.
- SEPEHR, M., and COSGROVE, J.W., 2004, Structural framework of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran: *Marine and Petroleum Geology*, **21**, 829-43.
- STATOIL, 2003, Marun Asmari full field study. *NISOC, Ahwaz, Iran*.
- STEARNS, E.W, 1967, Fracture & Mechanism of Flow in Naturally Deformed Rocks: *Geological Survey of Canada*, 68527995.
- TALEBIAN, M., and JACKSON, J.A, 2004, Reappraisal of earthquake focal mechanisms and active shortening in the Zagros mountains of Iran: *Geophysical Journal International*, **156**, 506-526.
- VERNANT, Ph., NILFOROUSHAN, F., HATZFELD, D., ABBASSI, M.R., VIGNY, C., MASSON, F., HANKALI, H., MARTINOD, J., ASHTIANI, A., BAYER, R., TAVAKOLI, F., and CHERY, J., 2004, Present-day crustal deformation and plate kinematics in the Middle East constrained by GPS measurements in Iran and northern Oman: *Geophysical Journal International*, **157**, 381-398.

