

بررسی متغیرهای هندسی و جنبشی شکستگی‌های مخزن آسماری میدان مارون

خیرالله نورائی نژاد^۱، حسن امیری بختیار^۲، روح‌انگیز محمدیان^۳ و عبدالفیاض عزیزی^۴

^۱ کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

^۲ دکتر، شرکت ملی نفت ایران مناطق نفت‌خیز جنوب، اهواز، ایران.

^۳ کارشناسی ارشد، شرکت ملی نفت ایران مناطق نفت‌خیز جنوب، اهواز، ایران.

^۴ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۳/۲۸

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۱۲/۱۸

چکیده

تاق‌دیس مارون در بخش میانی پهنه ساختاری زاگرس چین‌خورده ساده در جنوب فروافتادگی دزفول شمالی و در امتداد تاق‌دیس‌های رامین و آغاجاری قرار گرفته است. در این مطالعه با بهره‌گیری از داده‌های زیرسطحی، سازوکار چین‌خوردگی و شکستگی‌های این تاق‌دیس بررسی شده است. با استفاده از نتایج اولیه داده‌های ژئوفیزیکی، روش‌های تحلیل هندسی، تغییرات انحنای مطالعات هرزروی گل‌حفاری، اطلاعات مهندسی مخزن، هندسه تاق‌دیس و شکستگی‌های مرتبط با چین‌خوردگی مورد بررسی و تحلیل قرار گرفته‌اند. سازوکار چین‌خوردگی در این تاق‌دیس ترکیبی از چین‌خوردگی خمشی - لغزشی و چین‌خوردگی با سطح خنثی است. به عبارت دیگر تاق‌دیس زیرسطحی مارون یک چین مرتبط با گسل راندگی و از نوع جدایشی گسلی یا جدایشی انتقالی است. مقاطع لرزه‌ای، تاق‌دیس مارون را از نوع چین‌خوردگی هم‌مرکز نشان می‌دهد و از سطح به ژرفا با کاهش فضای موجود در اثر چین‌خوردگی همراه بوده است. این کاهش فضا با گسلش در یال جنوبی همراه است و این گسل‌ها در سازند گچساران ناپدید می‌شوند. در نتایج حاصل، انطباق خوبی میان روش‌های تحلیلی هندسی، داده‌های هرزروی گل، شاخص بهره‌دهی در ناحیه خمش تاق‌دیس مارون (بخش مرکزی) و حضور شکستگی‌ها در این بخش وجود دارد. تحلیل داده‌های یادشده بیانگر این مطلب است که بیشترین تراکم شکستگی‌ها، مربوط به منطقه خمش در میدان نفتی مارون است. در پایان می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد که برای حفر چاه‌های توسعه‌ای و تولیدی آتی باید متغیرهای یادشده مدنظر قرار گیرد و به بخش شمال‌خاوری و یال جنوبی تاق‌دیس مارون توجه بیشتری شود.

کلیدواژه‌ها: میدان نفتی مارون، مخزن آسماری، چین‌خوردگی، گسل خوردگی، شکستگی.

*نویسنده مسئول: خیرالله نورائی نژاد

E-mail: Kh.nuraei@gmail.com

پیش‌گفتار

اولین مطالعه زمین‌شناسی مخزن مارون توسط Jsisler (1971) منتشر شد. وی در این مطالعه سازند آسماری را به ۴ لایه اصلی تقسیم کرد که هر یک دارای یک زیرلایه کربناتی در بالا و یک زیرلایه ماسه‌سنگی در پایین هستند. مطالعه میرزاقلی‌پور و حقی (۱۳۶۹) ضمن جمع‌بندی اطلاعات پیشین بخش‌بندی مخزن آسماری میدان مارون را در ۱۷۰ حلقه چاه به‌روز کرده است.

MC Cord & Aociates (1975) مطالعه‌ای را بر روی شکستگی‌های سازند آسماری میدان مارون انجام دادند و در آن بیشتر به بررسی عوامل کنترل‌کننده شکستگی پرداختند.

در سال ۱۹۹۲ میلادی مطالعه جامع زمین‌شناسی مخزن آسماری توسط شرکت Intera انجام گرفت که در آن سه محدوده زمین‌ساختی را بر پایه نیروهای فشاری مشخص کردند که شامل محدوده A در مرکز میدان با بیشترین فشارش و خمش، محدوده B در انتهای خاوری با خمش نسبتاً ملایم و محدوده C در انتهای باختری با کمترین فشارش است.

۲- موقعیت جغرافیایی و ویژگی‌های ساختمانی میدان نفتی مارون

میدان مارون در جنوب فروافتادگی دزفول شمالی و در امتداد تاق‌دیس‌های آغاجاری و رامین قرار گرفته است. از دید موقعیت جغرافیایی، این میدان نسبت به میادین مجاور از شمال توسط میدان رامین، از خاور توسط میدان کوپال، از باختر و شمال باختر توسط میادین شادگان و اهواز و از جنوب توسط میدان رامشیر محدود می‌شود (شکل ۱).

ساختمان میدان مارون تاق‌دیس‌ی است با سوی شمال باختر - جنوب خاور، کم‌عرض و طولیل، دارای پیچش بسیار مشخص در میانه ساختار که به میدان حالت نیمه‌جناغی به سوی شمال داده است (میرزاقلی‌پور و حقی، ۱۳۶۹). سازند آسماری اصلی‌ترین سنگ مخزن این میدان است که در پهنه‌های بالایی بیشتر از دولومیت

شکستگی‌ها رایج‌ترین ساختار زمین‌شناسی هستند که به دلیل فرایندهای پیچیده‌ای که در تشکیل آنها دخالت دارد ممکن است در هر رخمون سنگی وجود داشته باشند. شکستگی‌ها نقش مهمی در تولید مخازنی که به‌طور طبیعی شکسته شده‌اند، دارند. تحلیل و بررسی آنها از دیدگاه ساختاری به‌ویژه شکستگی‌های زیرسطحی مشکل است؛ به همین خاطر با وجود اهمیت زیاد، کمتر مورد توجه زمین‌شناسان قرار گرفته است. شکستگی‌ها یکی از مهم‌ترین مسیرهای جریان سیال در مخازن کربناتی هستند (Bourne et al., 2000). در رابطه با اهمیت شکستگی‌ها می‌توان به نقش مؤثر آنها در افزایش تخلخل، نفوذپذیری و در نتیجه تولید بالای نفت در مخازن کربناتی جنوب باختری ایران اشاره کرد. در مخزن آسماری، تولید در بیشتر موارد متناسب با نفوذپذیری مرتبط با تخلخل زمینه سنگ نیست و به مراتب بیشتر از آن است (مطبعی، ۱۳۷۴). بنابراین نقش شکستگی‌ها در خروج طبیعی، بازیافت ثانویه و بالاخره بازیافت پایانی بسیار پراهمیت است و مطالعه و بررسی شکستگی‌ها و شناخت موقعیت و چگونگی گسترش آنها در سرتاسر مخزن، می‌تواند به طرح گسترش میدان، تعیین محل‌های مناسب برای ساخت چاه‌های جدید، افزایش طول عمر و بهره‌دهی مناسب مخزن، کاهش هزینه‌های پی‌جویی و درک کلی ما از سامانه شکستگی در میادین نفتی، کمک قابل توجهی کند.

هدف از این مطالعه تعیین پراکندگی، شدت و روند شکستگی‌ها در میدان نفتی مارون، در راستای پیشنهاد نقاط پهنه‌خفاری و در امتداد آن کاهش هزینه‌های حفاری، تعیین مناطقی با دی‌بالای تولید در میدان، همچنین مشخص کردن سازوکار چین‌خوردگی در تاق‌دیس زیر سطحی مارون است. در این مطالعه از اطلاعات مختلفی مانند داده‌های ساختمانی (داده‌های زیرسطحی)، داده‌های ژئوفیزیکی، داده‌های حفاری، اطلاعات تولیدی چاه‌ها و داده‌های دینامیکی مخزن استفاده شد و در پایان با تلفیق اطلاعات یادشده و با روش‌های آماری و ریاضی، سازوکار ایجاد چین‌خوردگی، تراکم و الگوهای شکستگی‌های چیره تعیین شده است.

از حدود ۱۳ کیلومتر به ۷ کیلومتر رسیده و طبیعی است چنین حالتی تنها به وسیله ایجاد گسل خوردگی وارون رخ خواهد داد (شکل ۲ و ۹).

در میدان مارون به دلیل دو رخداد مهم زمین‌ساختی به صورت چین‌خوردگی (Folding) که آثار اصلی کوهزایی زاگرس است و خمش محوری که بعدها در اثر حرکت تحت‌تأثیر نیروهای تراکمی ایجاد شده و ادامه آن تا به امروز تغییر شیب را در یال‌های این مخزن بسیار گوناگون کرده است و بنابراین میزان شعاع انحنا در طول ساختمان در مقاطع مختلف با هم متفاوت شده است. در نتیجه این خمش تغییر شیب در یال‌ها بسیار گوناگون و شعاع انحنا در طول محور ساختمان در مقاطع مختلف تغییر می‌کند. به گونه‌ای که در نقشه هم‌شیب سازند آسماری تاقدیس مارون از شمال باختر به طرف مرکز میدان، ساختمان تاقدیس نامتقارن با بیشترین شیب حدود ۷۰ درجه در یال جنوبی در بخش مرکزی (ناحیه خمش) و به سمت خاور در یال جنوبی کاهش یافته و به طور متوسط به حدود ۵۰ درجه هم می‌رسد.

در یال شمالی نیز به طرف شمال خاور شیبی حدود ۴۰ درجه و در بقیه بخش‌ها شیب میانگین حدود ۲۰ درجه دارد. بنابراین بیشترین بستگی ساختمانی میدان مارون از مرکز تا انتهای خاوری مخزن دیده می‌شود. عملکرد نیروهای فشارشی سبب ایجاد دگرشکلی در بخش‌های مرکزی میدان (با بیشترین خمش و فشارش) و انتهای خاوری (با خمش نسبتاً ملایم) شده و همچنین سبب رانندگی ساختمان آغاجاری بر روی انتهای خاوری میدان مارون شده است.

نقشه هم‌انحنای مخزن آسماری مارون مناطقی با شیب بالا و در نتیجه شعاع انحنای بیشتر را در یال جنوبی ساختمان نشان می‌دهند که در چنین شرایطی بیشترین شکستگی در یال جنوبی مخزن شکل گرفته است. افزایش مقدار شیب در یال جنوبی به سوی نواحی مرکزی (ناحیه خمش) تاقدیس و کاهش شعاع انحنای چین سبب شده تا شکستگی‌ها در یال جنوبی به سوی بخش مرکزی تاقدیس (ناحیه خمش) دارای گسترش بیشتری باشند. به گونه‌ای که در نقشه هم‌انحنای مخزن آسماری میدان مارون بیشترین انحنا در یال جنوبی بخش مرکزی و بخش شمال خاوری دیده می‌شود (شکل ۴).

– **تحلیل دایره محاطی (Inscribed Circle Analysis):** هدف از به‌کارگیری روش تحلیل دایره محاطی تعیین محدوده گسترش شکستگی‌های باز ناشی از خمش عرضی چین‌خوردگی یا شکستگی‌های کششی ساختار تاقدیسی است.

در این روش سعی بر این است که دایره‌ای با بیشترین شعاع موجود در انحنای مربوط به ساختمان محاط شود. برای این کار از نقطه عطف یا به عبارتی نقطه‌ای که سوی شیب در آن دچار تغییر می‌شود استفاده می‌شود. در این راستا بخش‌هایی از ساختمان که در حالت مماس با دایره قرار می‌گیرند مرتبط با نقاطی با حداقل ایجاد بازشدگی هستند و هرچه این فاصله بیشتر می‌شود گسترش بازشدگی‌ها نیز مرتبط با آنها افزایش خواهد یافت. در این مطالعه برای رسم مقاطع ساختمانی از نقشه U.G.C سازند آسماری با استفاده از نرم‌افزار RMS استفاده شد (شکل ۵). بیش از ۶۰ برش ساختمانی در جهت عمود بر محور ساختمان رسم شد و برای رسم دوایر محاطی مماسی از نرم‌افزار اتو کد و منحنی تراز ۳۹۰۰ متری زیرسطح دریا به عنوان ژرفای مبنا استفاده شده است (شکل ۶).

بر پایه ارزیابی‌های انجام شده دو محدوده مستعد شکستگی در نواحی یال جنوبی در بخش مرکزی به سمت انتهای باختری و محدوده دیگر در یال شمال خاوری و بخش خاوری تشخیص داده شده است که چگونگی پراکنش و گسترش شکستگی‌ها را در مخزن نشان می‌دهد. همچنین بررسی نتایج نشان می‌دهد که هر دو دسته شکستگی مرتبط با چین‌خوردگی و خمش در دو محدوده بالا هستند و محدوده‌های پراکنندگی شکستگی‌ها در سازند آسماری بر پایه روش دوایر محاطی همخوانی بسیار خوبی با محدوده‌های بیشترین شیب ساختمانی در نقشه هم‌انحنا دارند (شکل ۵).

و آهک تشکیل شده است و برپایه تازه‌ترین پهنه‌بندی انجام شده، مخزن آسماری میدان مارون از دید سنگ‌شناسی به ۵ پهنه و ۵ زیرپهنه تقسیم‌بندی شده که پهنه ۱ در رأس و پهنه ۵ در قاعده مخزن قرار گرفته است.

پهنه یک: این پهنه در بخش بالایی سازند آسماری و در بخش زیرین سازند گچساران (پوش سنگ) واقع شده است. از دید سنگ‌شناسی بخش عمده آن دولومیت، آهک دولومیتی به همراه مقادیر جزئی، انیدریت است و گاهی لایه‌های نازکی از شیل، مارن و ماسه نیز دیده می‌شود. ستبرای میانگین آن ۷۵-۶۰ متر و همزمان با آخرین فاز پیشروی دریا در میوسن نهشته شده است.

پهنه دو: این پهنه بخش بالایی سازند آسماری میانی را تشکیل می‌دهد و سنگ‌شناسی آن شامل دولومیت و آهک‌های دولومیتی به همراه مقادیر جزئی انیدریت است که در بخش‌های زیرین (زیرلایه ۲۸ در پهنه‌بندی قلی‌پور، ۱۳۶۸) تبدیل به تنابوی از لایه‌های ماسه‌سنگ آهک و آهک‌ماسه‌ای و دولومیت می‌شود. میانگین ستبرای این پهنه ۱۰۰-۷۰ متر است.

پهنه سه: این پهنه بخش‌های پایینی آسماری میانی را شامل می‌شود و سنگ‌شناسی آن بیشتر از سنگ‌آهک، دولومیت که در بخش‌های تحتانی (زیرلایه ۳۰/۳۶ در زون‌بندی قلی‌پور) ماسه‌سنگی با میان‌لایه‌های آهک و دولومیت ماسه‌ای و گاهی لایه‌های نازک شیلی تشکیل شده است. ستبرای میانگین این پهنه میان ۱۰۰-۸۰ متر است.

پهنه چهار: این پهنه بخش بیشتری از آسماری زیرین را تشکیل می‌دهد و سنگ‌شناسی عمده آن آهک، آهک دولومیتی، ماسه‌سنگ، شیل و مارن که در بخش‌های زیرین (پهنه ۴۰/۸۰ در قلی‌پور، ۱۳۶۸) لایه‌های آهک خالص و در برخی بخش‌ها لایه‌های نازک ماسه و شیل است و ستبرای میانگین آن ۱۵۰ متر است.

پهنه پنج: این پهنه تشکیل‌دهنده بخش انتقالی میان سازندهای پابده و آسماری است و بیشتر از آهک‌های رسی فشرده و شیل‌های تیره‌رنگ گلوکونیتی و پیریت‌دار تشکیل شده است. ستبرای آن میان ۷۰-۶۵ متر است.

۳- تحلیل شکستگی

تحلیل شکستگی‌ها و شناسایی مکان‌هایی با تراکم بالای شکستگی در مخازن هیدروکربنی اهمیت ویژه‌ای دارد. برای بررسی توزیع فراوانی و تراکم شکستگی‌ها در مخزن آسماری از روش‌هایی بهره گرفته شده است که هر یک کارایی ویژه‌ای دارد و نتایج حاصل از آنها بسیار سودمند است. این روش‌ها عبارتند از:

۳-۱. روش‌های تحلیلی هندسی به منظور مطالعه و بررسی میزان تغییرات انحنای

– **تعیین میزان و جهت خمش محور ساختاری:** یک ساختار چین‌خورده ممکن است در جهات مختلفی تحت‌تأثیر تغییرات انحنای قرار بگیرد. از آن جمله می‌توان به تغییرات انحنای طولی اشاره کرد که در ارتباط با خمیدگی محور ساختار رخ می‌دهد (یزدانی و همکاران، ۱۳۸۵). بدیهی است موقعیت‌های ساختمانی که متأثر از این پدیده باشند با گسیختگی، توسعه و تراکم بیشتر شکستگی‌ها همراه هستند.

آنچه در هنگام مشتق‌گیری از نقشه تراز ساختمانی (UGC) مهم است آن است که رأس ساختمان نباید تحت‌تأثیر عملکرد گسلش یا خمش شدید ناشی از آن باشد زیرا در این حالت تغییرات انحنای حاصل از اثر گسل اختلال بزرگی ایجاد می‌کند که می‌تواند در کل نقشه انتشار یابد. این اختلال به صورت سینوسیته‌های فراوان و کوچک مقیاسی است که در اثر انطباق تکه‌تکه‌ای اطلاعات خام نقشه برای مشخص کردن تغییرات انحنای ساختارهای ناحیه‌ای بزرگ‌تر ایجاد شده‌اند.

خمش حاصل از تداوم نیروی تراکمی (نیروهای وارده از طرف بردار حرکتی صفحه سرری) سبب شده است که محور تاقدیس مارون در انتهای خاوری حدود ۲۲ درجه از حالت اولیه منحرف شود. در نتیجه فاصله محور تاقدیس مارون و آغاجاری

چگالی شکستگی متفاوت و در پایان ایجاد اثر بخشی های متفاوت از پوش سنگ گچساران در این میدان شده است. به دلیل وجود و عملکرد سازند شکل پذیر گچساران در منطقه مورد مطالعه، هندسه ساختمان سطحی و زیر سطحی این تاقدیس متفاوت است.

مطالعه ناحیه ای انجام شده بر روی سازوکار چین خوردگی در کمربند ساده چین خورده زاگرس، نوع چین خوردگی در این ناحیه را موازی در نظر گرفته است (Colman sad, 1978). سازوکار چین خوردگی در این ناحیه ترکیبی از دو سازوکار چین خوردگی خمشی - لغزشی و چین خوردگی با سطح خنثی است (Baker, 1987). بر پایه نظریات Dahlstorm (1990) در رژیم چین خوردگی هم مرکز یک مجموعه چین خورده الزاماً باید به وسیله سطوح گسستگی بالایی و زیرین دربر گرفته شود. در ستون چینه ای تاقدیس مارون می توان به وجود ردیفی از سازندهای مقاوم و نامقاوم اشاره کرد. به این ترتیب که سازندهای انیدریت گوتینا، آهک توده ای گروه خامی، سازند شیلی کژدمی، آهک توده ای گروه بنگستان، سازندهای بیشتر شیلی پابده و گورپی، آهک آسماری و تبخیری های سازند گچساران در این توالی دیده می شوند که همگی از ویژگی های چین های هم مرکز در این منطقه هستند. این سطوح گسستگی با افزایش ژرفا جابه جایی بیشتری را نشان می دهند. یکی از پیامدهای اولیه این پدیده نبود تقارن و به هم خوردگی سازوکار چین خوردگی هم مرکز است که در بخش هایی از تاقدیس مارون دیده می شود. نقش سطوح گسستگی میانی (پابده و گورپی) بر هندسه چین خوردگی تاقدیس مارون در نیمرخ های لرزه ای تفسیر شده به روشنی نمایان است (شکل ۱۰).

نیمرخ های لرزه ای تفسیر شده تاقدیس مارون را از نوع چین خوردگی هم مرکز نشان می دهند که از سطح به ژرفا با کاهش فضای موجود در اثر چین خوردگی همراه بوده که این کاهش فضا با گسلش در یال جنوبی همراه بوده که شیب گسل به تدریج کم شده است تا اینکه در نهایت به سطح گسستگی ساختمانی تاقدیس منتهی می شود. با اثبات چین خوردگی موازی و هم مرکز در میدان وجود دست کم یک صفحه گسل از نوع رانندگی در یال جنوبی تاقدیس قطعی است. با توجه به ویژگی های این سبک از چین خوردگی می توان مؤخر بودن گسلش رانندگی را نسبت به تکامل چین استنباط کرد.

بر پایه داده های ژئوفیزیکی با افزایش تنش های فشارشی بخش بالایی سطح گسستگی بر روی این سطح می لغزد و باعث بالا آمدن این بخش روی فرودپاره و در نتیجه کاهش درجه تقارن ساختار تاقدیس می شود (Desitter, 1956) (شکل ۹). در نیمرخ های لرزه ای تفسیر شده از تاقدیس مارون محدوده ای به هم ریخته و مبهم در یال جنوب باختری دیده می شود و نشان می دهد که در اثر عملکرد گسلش رانندگی در امتداد یال جنوبی، گسستگی رخ داده است. در نتیجه یال جنوبی بسیار پر شیب شده و به حالت قائم تا برگشته است. یال شمالی این تاقدیس چندان پر شیب نیست و شیب قائم و برگشتگی ساختاری نیز هرگز در آن دیده نمی شود. بنابراین وجود گسل رانندگی در یال جنوب باختری تاقدیس به اثبات می رسد (شکل ۱۰).

کوتاه شدگی ساختمانی در ارتباط با چین خوردگی در طول سه برش محاسبه شده است به گونه ای که در بخش های شمال باختری میزان کوتاه شدگی ۷/۵ درصد و در بخش مرکزی ۱۹/۵ درصد و در جنوب خاوری ۱۱ درصد است. بیشترین جابه جایی در بخش های مرکزی چین دیده می شود که به سمت شمال باختر و جنوب خاور از بین می رود. در بخش هایی از انتهای خاوری ساختمان کوتاه شدگی و جابه جایی در محل رانده شدگی میان میدین آغاچاری و مارون دیده می شود. به گونه ای که سازند گچساران با داشتن لایه های فراوان انعطاف پذیر، این کوتاه شدگی و کاهش حجم را با تحمل چندین گسل رانندگی در خود امکان پذیر کرده است (گسل رانندگی میان میدین آغاچاری و مارون در نقشه های لرزه ای میدان مارون شکل ۳ دیده شده است). متغیرهای یاد شده همگی از ویژگی های چین های هم مرکز در منطقه زاگرس است.

هر دو روش مشتق دوم و رسم دوائر محاطی، گسترش شکستگی هایی را نشان می دهند که در ارتباط مستقیم با فرایند چین خوردگی و خمش به وجود آمده اند.

۳-۲. استفاده از داده های هرزروی گل (Mud Losses)

بیشترین میزان مجاز هرزروی سیالات حفاری یک بشکه در ساعت است. هرزروی بیش از این مقدار به این صورت تفسیر می شود؛ هرزروی تراوشی (1-10 bbl/h) مرتبط با تخلخل، نفوذپذیری و شکستگی های کوچک، هرزروی جزئی (10-50 bbl/h) ناشی از وجود شکستگی ها، ماسه و گراول های نامتراکم و هرزروی شدید (50-100 bbl/h) حاصل شکستگی های بزرگ، گسل ها و ماسه های ناپایدار است (Park, 1989).

در این مطالعه اطلاعات ۴۰ حلقه چاه که بیشتر در رأس تاقدیس قرار دارند، تحلیل و نقشه هم هرزروی گل در مخزن آسماری میدان مارون (شکل ۷) و نمودار ستونی اطلاعات هرزروی گل بر حسب بشکه در ساعت (شکل ۸) برای چاه ها تهیه شد. در نقشه هم ارزش هرزروی گل حفاری سازند آسماری بیشترین مقدار هرزروی در منطقه خمش به میزان ۲۰۵ بشکه در ساعت است. بررسی این داده ها نشان می دهد که با افزایش ژرفا، میزان هرزروی کاهش می یابد و احتمالاً با افزایش ژرفا تراکم شکستگی های باز کاهش می یابد. بررسی نقشه های هرزروی گل حفاری وجود یک هماهنگی میان منطقه خمش و داده های هرزروی گل حفاری را نشان می دهد که بیان کننده گسترش بیشتر شکستگی های باز در این بخش نسبت به نواحی مجاور خود است.

۳-۳. تحلیل داده های مهندسی مخزن (Analysis of Reservoir Engineering Data)

از مهم ترین متغیرهای مهندسی مخزن که در تحلیل شکستگی ها مورد استفاده قرار می گیرند می توان به متغیرهای شاخص بهره دهی، شاخص تراوایی، داده های مربوط به زمان ساخت فشار پس از بستن گمانه، لایه آزمایی مکرر و ساق مته (DST) اشاره کرد.

ویژگی های فیزیکی شکستگی ها تابع منشأ، ویژگی های مکانیکی سنگ ها و عامل دیاژنز است که تأثیر این عوامل می تواند تخلخل و تراوایی را افزایش یا کاهش دهد (Gray et al., 1988). در این نوشتار داده های تراوایی ارزیابی شده است. در بررسی هایی که بر روی نمونه مغزه انجام می گیرد تراوایی در دو سوی قائم و افقی اندازه گیری می شود. در مدل های ترسیمی نرم افزار شبیه سازی مخازن نفتی با استفاده از نرم افزار شبیه سازی شکستگی ها (Frac) در دو جهت افقی و قائم در هر نقطه از ساختمان تراوایی افقی و قائم محاسبه و در نتیجه نقشه های هم تراوایی قائم و افقی رسم می شود. در میدان مارون نقشه های هم تراوایی افقی و قائم در نرم افزار Fraca توسط شرکت اساتاد اویل تهیه شده است. بر پایه نقشه های تراوایی بیشترین تراوایی افقی و قائم به ترتیب به میزان ۲۷۸ و ۲۴۶ میلی داری است (Stat Oil, 2003). در نواحی شمال خاوری در محل خمش (دوایر سرخ) و بخشی از یال جنوبی ساختمان یک دیده می شود، مناطق با تراکم بالای شکستگی در مخزن آسماری نشان دهنده ارتباط قائم شکستگی های موجود در این مخزن است (شکل ۹).

۴- سازوکار چین خوردگی در تاقدیس زیر سطحی مارون

برای تحلیل و تفسیر شکستگی ها، شواهد زمین شناسی و ژئوفیزیکی همچنین برای تحلیل وضعیت ساختاری الگوی چین خوردگی تاقدیس مورد نیاز است. تاقدیس مارون یک تاقدیس زیر سطحی است و شواهد زمین شناسی زیادی از آن وجود ندارد. برای شناسایی سازوکار چین خوردگی در تاقدیس مارون از داده های ژئوفیزیکی حاصل از لرزه نگاری سه بعدی به همراه داده های حفاری بهره گرفته شده است. بررسی روند های متفاوت در زاویه بستگی و میزان کوتاه شدگی تاقدیس سبب ایجاد

بدین معنی است که سازند گچساران در اولین مراحل دگرشکلی در پیشانی زاگرس فعال بوده و رسوبات پیش از خود را از رسوبات گروه فارس جدا می‌سازد. در مراحل پیشرفته دگرشکلی سطح گسستگی بالایی (سازند گچساران) در ناودیس‌ها به تله افتاده و با پرشیب‌شدگی و رورانندگی میان تاقدیس‌های اصلی از خود واکنش نشان می‌دهد (Sherkati & Letouzey, 2004).

با نگاهی به نیمرخ‌های لرزه‌ای میدان مارون در موقعیت‌های شمال باختری Line-1424 و Line-1433 بخش‌های مرکزی Line-1414 و Line-1422 می‌توان به وجود ناودیس فرودیواره که از ویژگی‌های بارز چین‌های جدایشی انتقالی بوده پی برد (شکل ۱۳). مشاهده نیمرخ‌های لرزه‌ای تفسیر شده، گسل‌های عادی را در بخش‌های جنوب خاوری تاقدیس نشان می‌دهد که به سمت خمش ناپدید می‌شوند. شواهد و علائم ناحیه‌ای وجود گسل‌های کششی را (Tentional) تأیید کرده که در سازند گچساران و افق‌های کم‌ژرف‌تر ناپدید می‌شوند و زمان گسلش را می‌توان به فاز کششی میوسن میانی پیش از رویداد فشارشی آلپی (میوسن پایانی-پلیوسن) احتمال داد.

مطالعه بخش مرکزی و خاوری زاگرس نشان می‌دهد که چندین سطح گسیختگی میانی نیز در درون گروه مقاوم ارائه شده توسط O'Brien (1950) وجود دارد که در حین چین‌خوردگی فعال شده و سطوح گسیختگی یادشده واحدهای سنگ‌زمین ساختی را از هم جدا می‌کند (Sherkati & Letouzey, 2004).

در گیرشدگی افق‌های گسستگی میانی طی دگرشکلی پیشرونده می‌تواند موجب افزایش پیچیدگی‌های هندسی شود. وجود لایه‌های انعطاف‌پذیر شیل و مارن به صورت متناوب در سازند آسماری (زون‌های ۴ و ۵) به همراه سازند گچساران یکی از دلایل پدید آمدن چندین افق گسستگی در تاقدیس مارون است. وجود لایه‌های شیلی در ستون سنگ‌شناسی سازند آسماری میدان مارون در طی چین‌خوردگی می‌تواند موجب لغزش لایه‌ها روی یکدیگر شود. هر لایه به عنوان سطوح لغزش عمل کرده و لغزش از یال‌ها به سوی لولای چین است و تقریباً لولای چین بدون تغییر شکل است.

با توجه به اینکه چین‌خوردگی در تاقدیس مارون به صورت موازی است، سازوکار چین‌خوردگی در این ناحیه ترکیبی از دو سازوکار خمشی - لغزشی و چین‌خوردگی با سطح خنثی بوده است.

Poblet & McClay (1996) سه مدل را برای رشد و تکامل چین‌های جدایشی ارائه دادند که عبارتند از: ۱) شیب یال ثابت و طول یال متغیر، ۲) شیب یال متغیر و طول یال ثابت و ۳) شیب یال متغیر و طول یال متغیر.

چنین ویژگی‌هایی را در مقاطع ساختمانی رسم شده بر روی نقشه‌های ساختمانی زیرزمینی (Under Ground Contour Map) سازندهای پاینده و ایلام و پس از محاسبه زوایای میان‌یالی (Inter Limb)، (Fore Limb) و (Back Limb) در برش‌های ساختمانی رسم شده تاقدیس مارون، در مدل ۳ می‌توان دید (شکل ۱۴). گفتنی است که برای رسم مقاطع عرضی، از نقشه‌های ساختمانی زیرسطحی رأس سازندهای آسماری و بنگستان که حاصل داده‌های ژئوفیزیکی هستند، استفاده شد.

۵- نتیجه‌گیری

تاقدیس زیرسطحی مارون یک چین مرتبط با گسل رانندگی از نوع جدایشی گسلی یا جدایشی انتقالی است. نیمرخ‌های لرزه‌ای تفسیر شده تاقدیس مارون را از نوع چین‌خوردگی هم‌مرکز نشان می‌دهند که از سطح به ژرفا با کاهش فضای موجود در اثر چین‌خوردگی همراه بوده که این کاهش فضا همراه با گسلش در یال جنوبی است که شیب گسل به تدریج کم می‌شود تا اینکه در نهایت به سطح گسستگی (بالایی) ساختمانی تاقدیس (سازند گچساران) منتهی می‌شود. بر پایه نقشه‌های هم‌انحنا و تحلیل دایره محاطی دو محدوده مستعد شکستگی یک محدوده در نواحی مرکزی

به هم‌خوردگی سازوکار چین‌خوردگی یکی دیگر از ویژگی‌های چین‌خوردگی‌های هم‌مرکز است که در بخش‌هایی از تاقدیس مارون قابل مشاهده است. به‌طور کلی سطوح گسیختگی با افزایش ژرفا جابه‌جایی بیشتری را نشان می‌دهند به گونه‌ای که نقش سطوح گسیختگی میانی (پابده و گورپی) بر هندسه چین‌خوردگی تاقدیس مارون در نیمرخ‌های لرزه‌ای تفسیر شده به روشنی نمایان است (شکل ۱۰).

(Mitra 2002) سبک ساختاری ویژه‌ای از چین‌های جدایشی را در کمرندهای چین‌خورده - گسل‌خورده مورد بررسی قرار داده و با عنوان چین‌های جدایشی گسل‌خورده معرفی کرده است (شکل ۱۲). وی بر این باور است که این ساختمان‌ها در ستون چینه‌ای با ردیفی از سازندهای مقاوم و نامقاوم شکل می‌گیرد. با افزایش میزان کوتاه‌شدگی دگرشکلی ساختمان از چین‌خوردگی جدایشی تا چین‌خوردگی انتشار گسلی پیشرونده متغیر است. یکی از پیامدهای اولیه این پدیده عدم تقارن یا نامتقارن بودن چین‌خوردگی جدایشی ایجاد شده است. همچنین طول موج چین‌ها توسط ستبرای واحدهای مقاوم کنترل می‌شود. جبران کاهش حجم نیازمند حرکت مواد از تاقدیس‌ها به سوی ناودیس‌ها است. ادامه کوتاه‌شدگی سبب شکل‌گیری چین‌های تنگ‌تر شده است. این فرایند با چرخش یال‌ها در تاقدیس توسط جابه‌جایی در لولای چین امکان‌پذیر است. چرخش یال سبب ایجاد گسل‌های رانندگی شده و این گسل‌ها بر روی یال جلویی و احتمالاً تا یال پشتی نفوذ می‌کنند. در چین‌های جدایشی گسل‌خورده یال‌های پشتی ممکن است زاویه بیشتری را نسبت به گسل رانندگی نشان دهند.

برخی از سیماهای ویژه این سبک از چین‌خوردگی جدایشی که توسط (Mitra 2002) پیشنهاد شده است شامل تغییرات دارای اهمیت در رفتار دگرشکلی واحدهای مختلف، هندسه خیلی باز و مدور چین و حضور ناودیس فرودیواره است. هر چند مدل‌های انتقالی بین سه نوع اصلی چین‌خوردگی به واسطه گذر از چین‌های از پیش شکل گرفته صورت می‌گیرد. نظر به اینکه در نیمرخ‌های لرزه‌ای تفسیر شده تاقدیس زیرسطحی مارون الگوی شیب‌راهه و سکو دیده نمی‌شود بنابراین نمی‌توان مدل چین‌های خمشی گسلی را برای آن در نظر گرفت. پس باید مدل هندسی تاقدیس مارون را در ضلع پایینی مثلث رده‌بندی (Mc Clay 2004) جستجو کرد. حضور گسل رانندگی در یال جلویی تاقدیس که لایه‌بندی را قطع کرده است سبب می‌شود که این تاقدیس در گروه چین‌های جدایشی قرار نگیرد. در تشریح ویژگی‌های چین‌های انتشارگسلی اشاره می‌شود که در این مدل از چین‌خوردگی در جلوی چین هیچ‌گونه دگرشکلی وجود ندارد. با توجه به موارد یادشده در رده‌بندی مثلثی (Mc Clay 2004) تاقدیس مارون را باید در گروه چین‌های جدایشی انتقالی به‌شمار آورد. این گروه از چین‌ها دامنه گسترده‌ای از مدل‌های هندسی چین‌خوردگی را دربر می‌گیرد. بنابراین تعیین جایگاه مدل هندسی تاقدیس مارون در این گستره اگرچه دشوار ولی ضروری به نظر می‌رسد. میدان مارون تاقدیسی است که پیچیدگی‌های ساختمانی فراوان دارد. بنابراین تنها یک سازوکار نمی‌تواند عامل چین‌خوردگی باشد بلکه معمولاً به صورت توأم عمل کرده است.

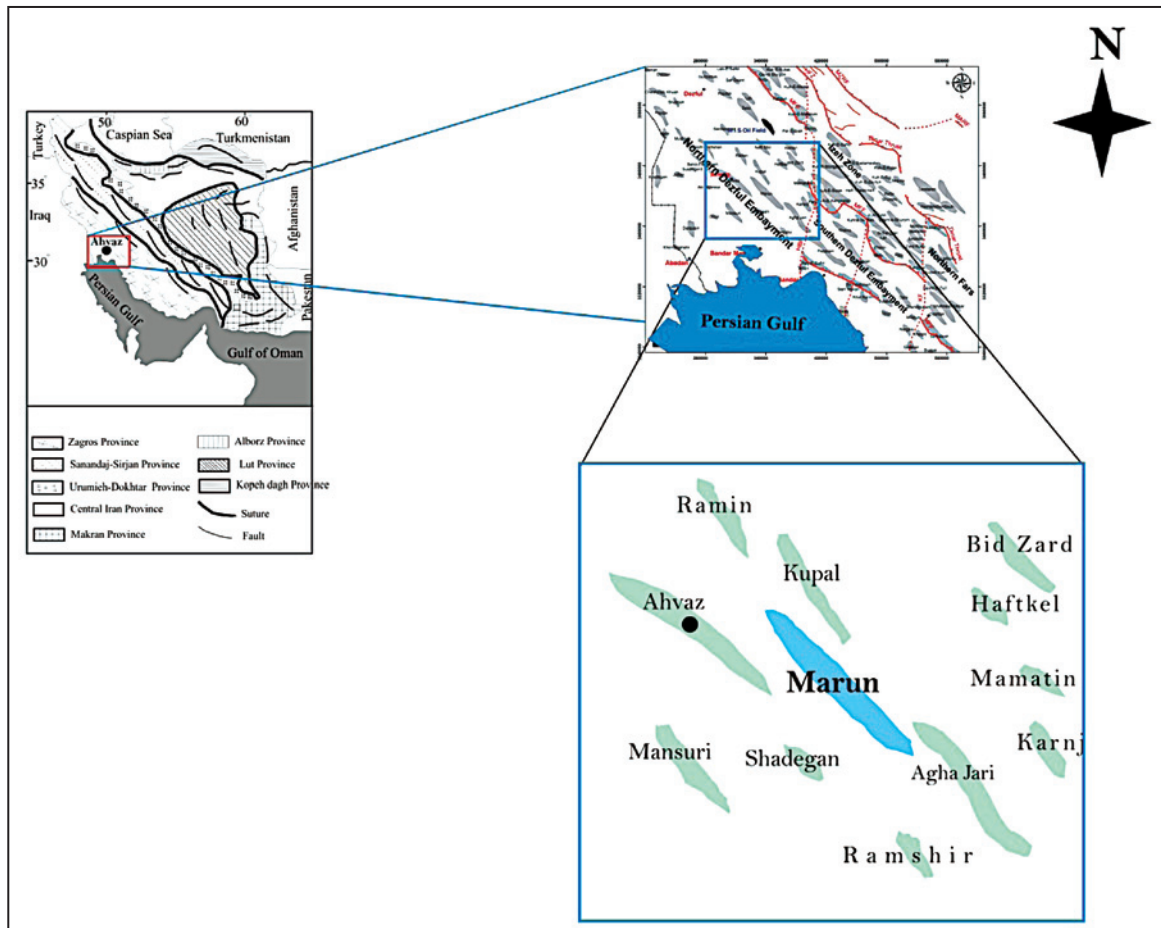
بدین ترتیب در یک بیان کلی تاقدیس زیرسطحی مارون را می‌توان یک چین مرتبط با گسل رانندگی یا جدایشی انتقالی (Thrust Fault Related Fold) از نوع جدایشی گسلی (Faulted Detachment Fold) نام‌گذاری کرد (شکل ۱۲).

شواهد و علائم ناحیه‌ای وجود گسل‌های کششی را در ساختار میدان مارون تأیید کرده است که در سازند گچساران و افق‌های کم‌ژرف‌تر ناپدید می‌شوند و زمان گسلش را می‌توان به فاز کششی - فشارشی میوسن میانی پیش از رویداد فشارشی آلپی (میوسن پسین - پلیوسن) احتمال داد (شکل ۱۱).

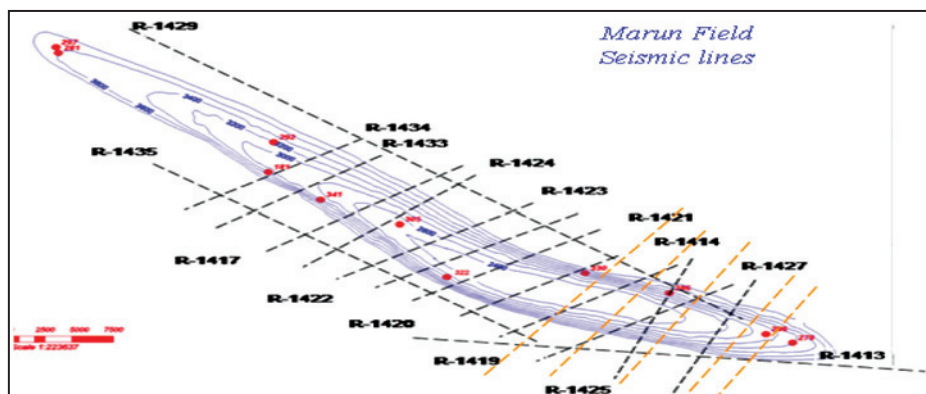
فعال شدن افق‌های گسستگی از ژرفا به سطح یکی پس از دیگری از ویژگی‌های ساختمانی است که در برخی از ساختمان‌های این ناحیه به چشم می‌خورد. وجود تبخیری‌های میوسن میانی (سازند گچساران) در فروافتادگی دزفول

در منطقه خمش تاقدیس نشان می‌دهند. به گونه‌ای که شکستگی‌ها بیشتر در نواحی مرکزی تا باختری یال جنوبی و بخش‌هایی از شمال خاوری میدان گسترش یافته‌اند. در نهایت می‌توان چنین نتیجه‌گیری کرد الگوهای مخزن مورد مطالعه در ارتباط مستقیم با رژیم زمین‌ساختی و تنش‌های حاکم بر منطقه هستند که برای حفر چاه‌های توسعه‌ای و تولیدی آتی باید متغیرهای یادشده مدنظر قرار داده شده و به بخش شمال خاوری و یال جنوبی تاقدیس مارون توجه بیشتری شود.

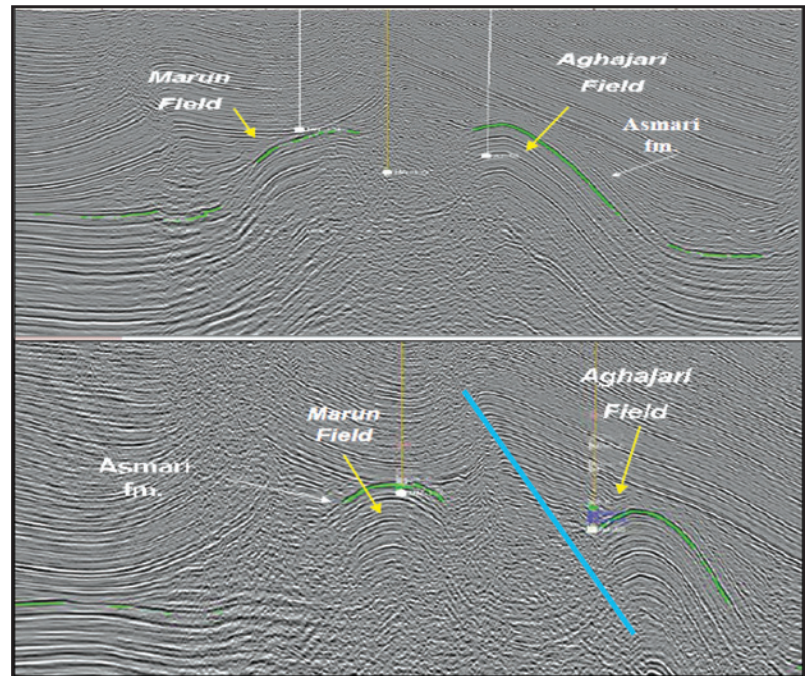
تا باختری یال جنوبی و محدوده دیگر در یال شمال و بخش شمال خاوری مشخص شده است به گونه‌ای که هر دو دسته شکستگی‌های مرتبط با چین خوردگی و خمش در دو محدوده یادشده دیده می‌شود. در بخش‌های مرکزی میدان در یال جنوبی بیشتر شکستگی‌های طولی دیده شده است. بخش خاوری مخزن، تراکم شکستگی کمتری نسبت به بخش‌های مرکزی دارد. نقشه‌های هرزروی گل حفاری، تراوایی و روش تحلیل دوايره محاطی هماهنگی بسیار خوبی را با مناطق گسترش شکستگی



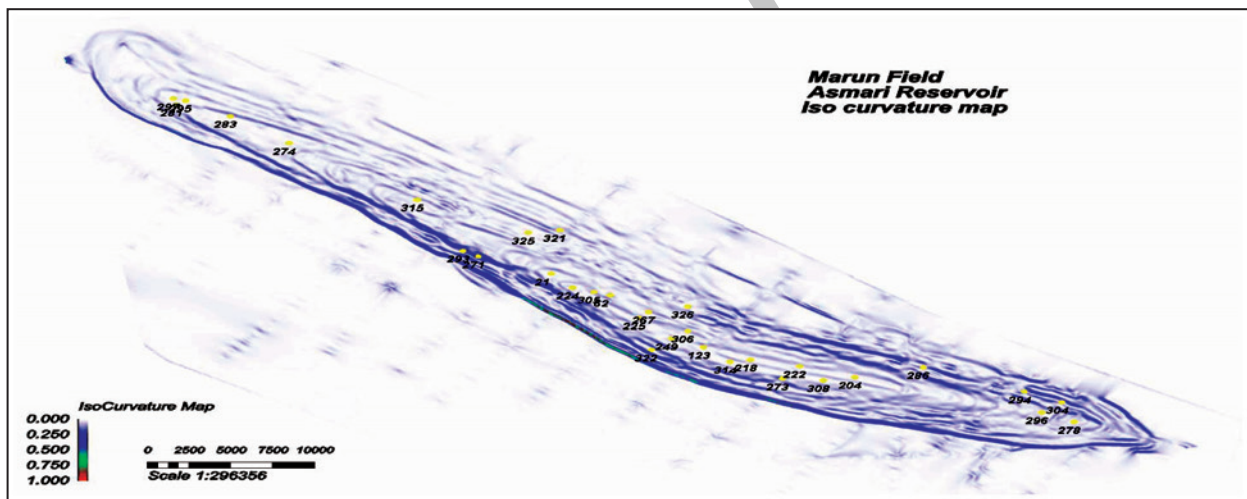
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی میدان نفتی مارون و میداین نفتی همجوار آن.



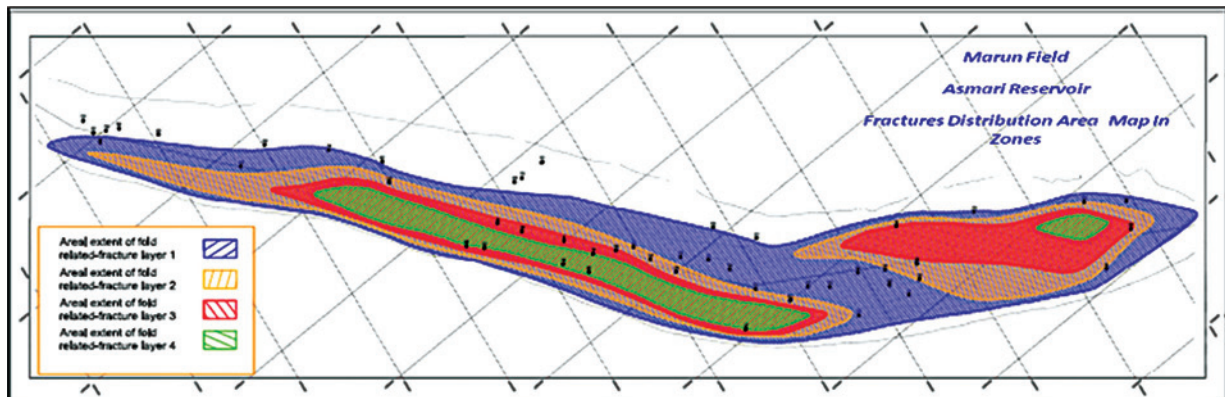
شکل ۲- نمایش موقعیت خطوط لرزه‌ای در میدان مارون: خطوط تیره، مقاطع لرزه‌ای دو بعدی تفسیر شده در میدان مارون و خطوط رنگی مقاطع لرزه‌ای سه بعدی انتخابی تفسیر شده را نشان می‌دهند.



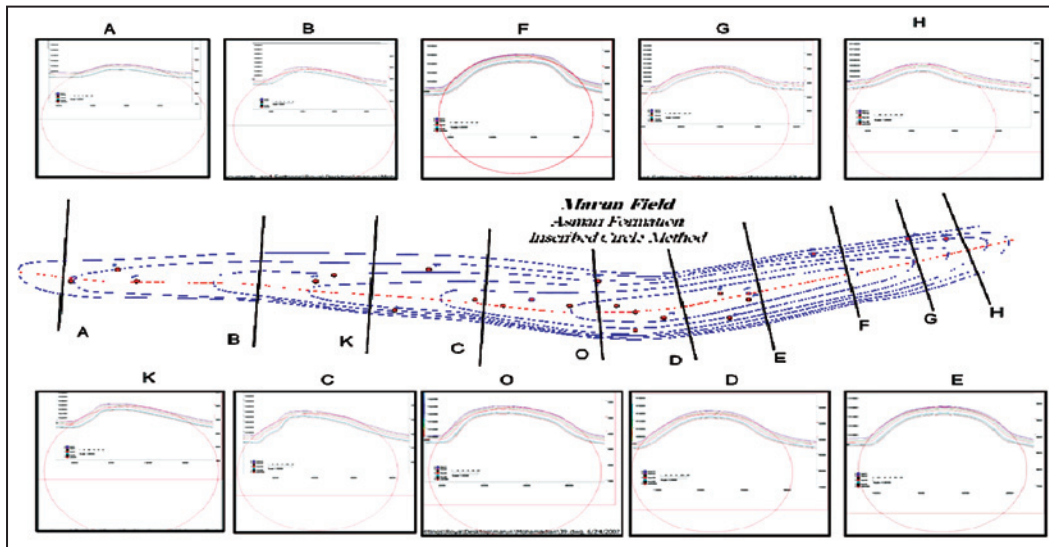
شکل ۳- نمایش مقاطع لرزه‌ای سه‌بعدی از بخش خاوری میدان مارون (نقشه مبنا شکل ۱۱) رانده‌شدگی تاقدیس آغاجاری بر روی انتهای شمال خاوری ساختمان مارون مشخص شده است (برگرفته از اداره اکتشاف شرکت ملی نفت ایران).



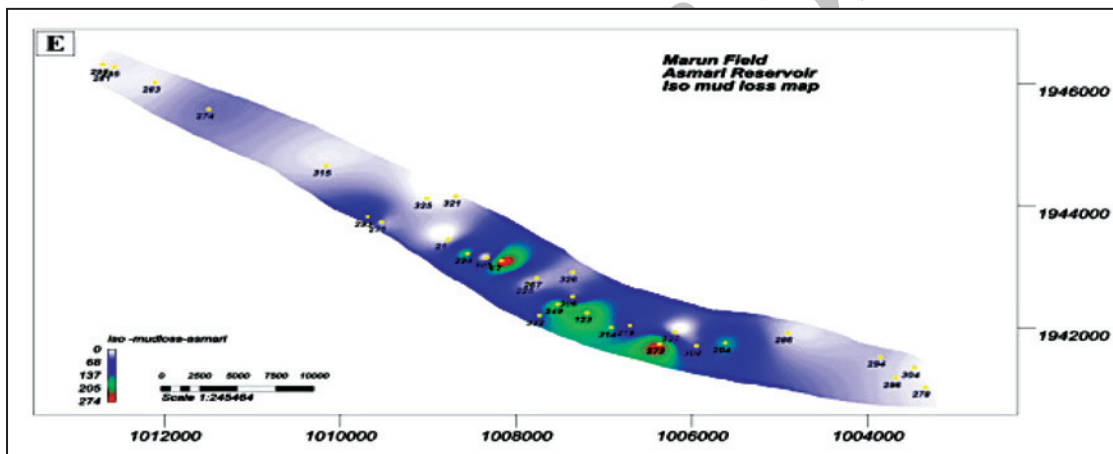
شکل ۴- نقشه همشیب سازند آسماری میدان مارون که بیشترین مقدار شیب ساختمان را در نواحی جنوب باختر و شمال خاور نشان می‌دهد.



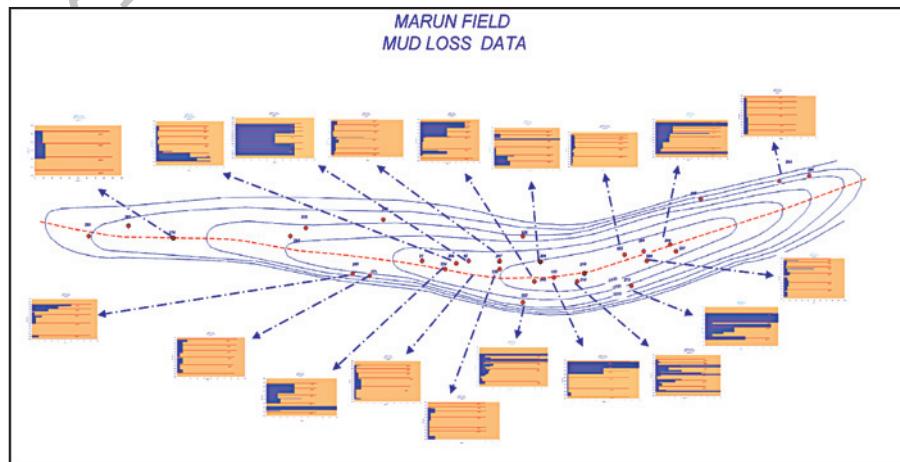
شکل ۵- نمایش محدوده‌های پراکنده‌گی شکستگی‌ها در مخزن آسماری بر پایه روش دوائر محاطی همخوانی بسیار خوب این مناطق را با محدوده‌های پیشینه شیب ساختمانی در نقشه هم‌انحنا می‌توان دید.



شکل ۶- نمایش دواير محاطی رسم شده بر روی مقاطع عرضی ساختمان مخزن آسماری مارون.

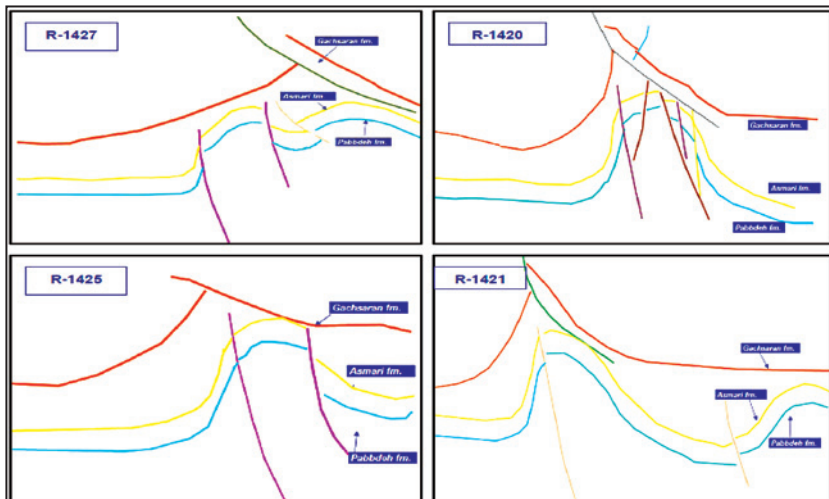
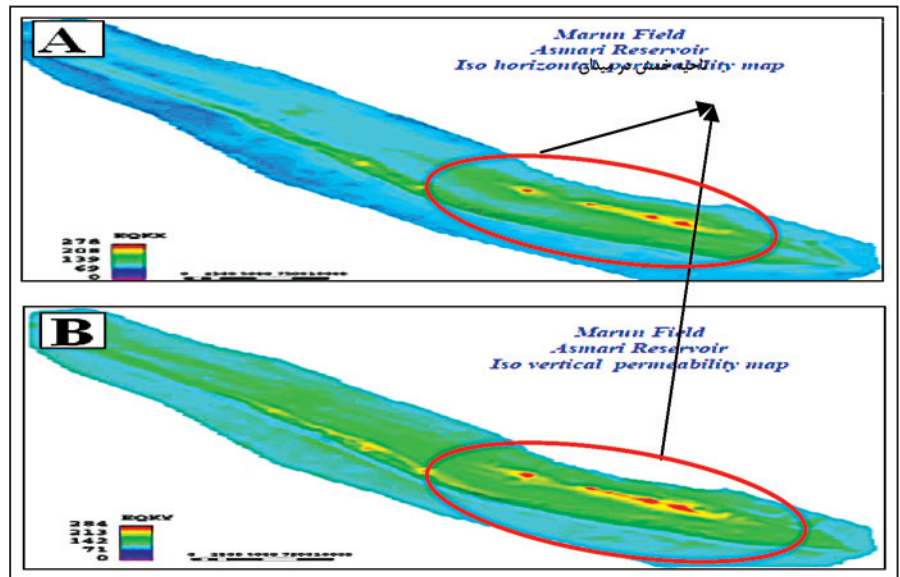


شکل ۷- نقشه هم ارزش هرزروی گل حفاری در کل مخزن آسماری نفتی مارون.

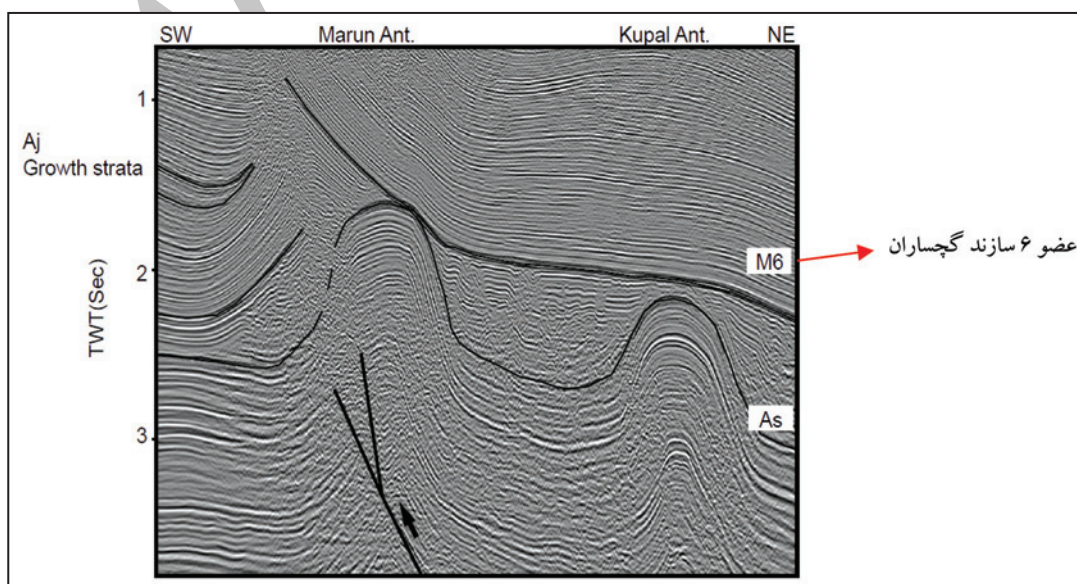


شکل ۸- نقشه نمودارهای ستونی هرزروی گل حفاری برحسب (bbl/h) در چاه‌های مخزن آسماری مارون که در آن بیشتر چاه‌ها به جز چاه ۲۷۹، ۲۴۳، ۲۰۴ و ۲۲۴ از روند کاهش هرزروی با افزایش ژرفا پیروی می‌کنند.

شکل ۹- نقشه تراوایی افقی A و قائم B سازند frac با استفاده از نرم‌افزار آسماری مارون با استفاده از نرم‌افزار frac که بیشترین تراوایی در گستره شمال خاوری ساختمان دیده می‌شود.

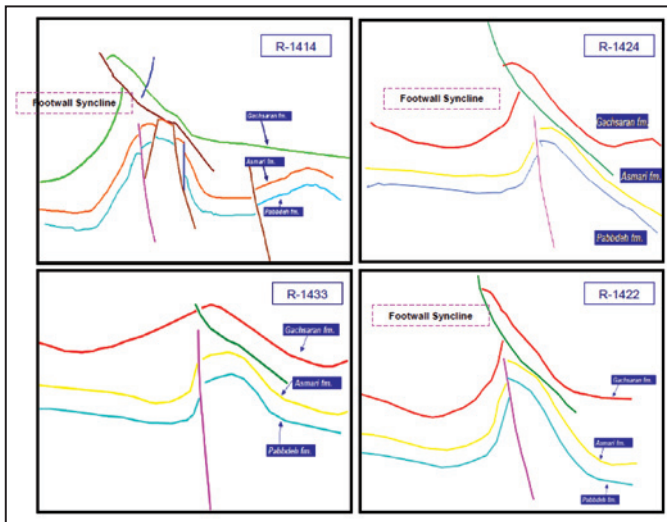
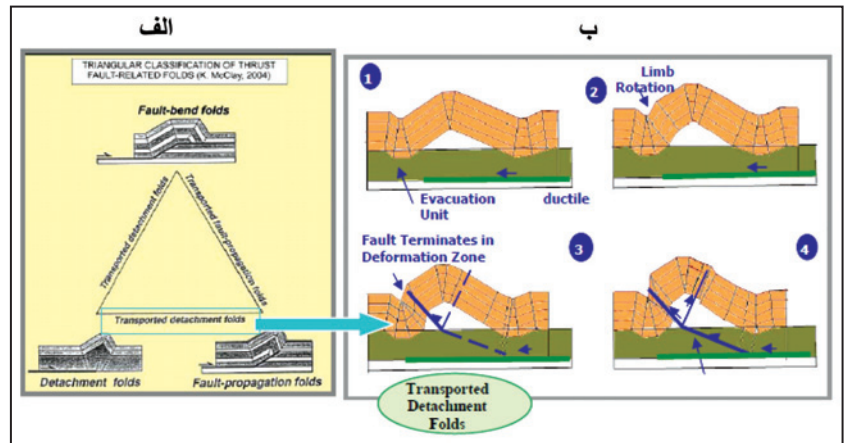


شکل ۱۰- نیمرخ‌های لرزه‌ای دوبعدی تفسیر شده از میدان مارون در منطقه خمش و بخش‌های خاوری تاقدیس بر پایه خطوط رأس سازندهای پابده (رنگ آبی)، آسماری (رنگ زرد) و گچساران (رنگ قرمز)، نقش سطوح گسیختگی میانی بر هندسه چین‌خوردگی تاقدیس مارون در نیمرخ‌های لرزه‌ای تفسیر شده را به روشنی نمایان می‌کنند (نقشه مبنا شکل ۲).



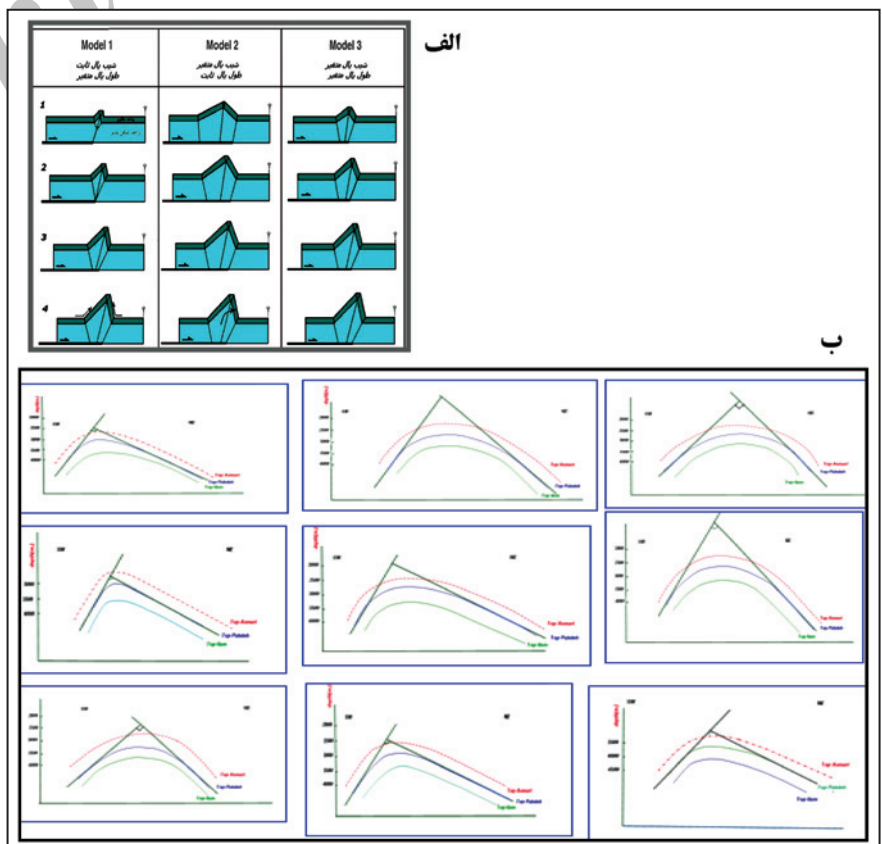
شکل ۱۱- مقطع لرزه‌ای سه‌بعدی تفسیر شده در میدان مارون (برگرفته از اداره اکتشاف شرکت ملی نفت ایران) که در آن وجود گسل خوردگی در یال جنوبی به اثبات رسیده است.

شکل ۱۲- مثلث طبقه‌بندی چین‌بندی مرتبط با گسل (McClay, 2004). الف) تاقدیس مارون در ضلع پایینی این مثلث از نوع چین جدایش گسلی قرار می‌گیرد؛ ب) مدلی از چین جدایش گسلی ارائه شده توسط (Mitra (2002).



شکل ۱۳- مقاطع لرزه‌ای دوبعدی تفسیر شده در بخش‌های شمال باختر و مرکز میدان مارون (نقشه مبنای خطوط لرزه‌ای شکل ۲). مشاهده گسل‌های عادی و راندگی در این بخش‌های تاقدیس نمایانگر تحمل ناشی از نیروهای فشاری پس از چین خوردگی و بیشترین دگرشکلی به‌ویژه در منطقه خمش است.

شکل ۱۴- مقاطع رسم‌شده بر روی نقشه‌های ساختمانی سازندهای آسماری، پایده و ایلام به عنوان مرحله‌ای از تکامل چین نشان داده شده است (شکل ب)؛ همان‌گونه که دیده می‌شود این مقاطع هماهنگی بسیار خوبی با مدل ۳ (شکل الف) (Poblet & McClay, 1996) نشان می‌دهند.



کتابنگاری

- مطیعی، ه. ه. ۱۳۷۴- زمین شناسی نفت زاگرس، جلد اول، انتشارات سازمان زمین شناسی کشور، ۵۸۹ ص. صفحه ۱.
- میرزاقلی پور، ع. و حقی، ع. ح.، ۱۳۶۹- مطالعه زمین شناسی میدان نفتی مارون، گزارش شماره پ- ۴۲۱۰، اداره کل زمین شناسی گسترشی، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، ۵۵ صفحه.
- یزدانی، م.، علوی، ا. و سراج، م.، ۱۳۸۵- تحلیل ساختاری و شکستگی های میدان نفتی پارس، فصلنامه زمین شناسی ایران، سال دوم، شماره ۵، تابستان، صفحات ۴۳-۵۶.

References

- Baker, H., 1987- Rev Technical Communication Group Fluid Facts Engineering, Chapter 1 PP 1-11, Chapter 2, Handbook PP 105-109, Chapter 3 PP 35-37, Houston, USA, March.
- Bourne, S. J., Bauckmann, F., Rijkels, L., Stephenson, B. J., Weber, A. & Willemse, E. J. M., 2000- Predictive modelling of naturally fractured reservoirs using geomechanism and flowsimulation. 9th Abu Dhabi Intern Petroleum Exhibition and Conference (Abu Dhabi), UAE, 10p.
- Colman Sad, S., 1978- Fold development in Zagros simply folded belt, southwest Iran, Am., Assoc., Pet., Geol., Bull, no 62 , p.984-1003.
- Dahlstrom, C. D. A., 1990- Geometric Constraints Derived from the Law of Conservation of volume and Applied Detachment folding AA PG Bull. 74(3), 339-344.
- DeSitter, L. U., 1956- Structural Geology, firsted. McGraw Hill Book Co., New York 552pp.
- Gray, H., George, R. & Darley, H. C., 1988- Composition and Properties of Drilling and Completion Fluids", Gulf Publishing Educational Company, Fifth Edition, PP 435-454, Houston, London, Paris, Tokyo.
- Mc Clay, K. R., 2004- Advanced Structural Geology for Petroleum Exploration, Royal Holloway University London, (Un Pub).
- MC Cord, D. R. & Aociates, A., 1975- Asmari reservoir, Khuzestan province Iran, Fracture study of Asmari reservoir, Osco (Un Pub).
- Mitra, S., 2002- Structural Models of Faulted Detachment Folds, AAPG Bulletin, 86(4), 671-693.
- Obrien, C. A. E., 1950- Tectonic Problems of the Oilfield Belt of South-west Iran. Int. Geol. Cong. 18th, Great Britian, Report. pt 6, 45-58.
- Park, R. G., 1989- Foundation of structural geology, 358p.
- Poblet, J. & Mc Clay, K. R., 1996- Geometry and Kinematic of Single Layer Detachment Folds, AAPG Bull, 80, 1085-1109.
- Sherkati, S. & Letouzey, J., 2004- Variation of Structural Style and Basin Evolution in the Central Zagros (Izeh zone and Dezful Embayment), Iran, Marine and Petroleum Geology, 21(5) , 535-554.
- Sisler, J. J., 1971- Study of Asmari Core Material From Wells Parsi 15 and 16, Parsi Field, Iran, OSCO, Report P-1945.
- Stat Oil, 2003- Marum Asmari Full Field Study, unpublished report.

Consideration of Geometric and Kinetic Parameters Fractures of Asmari Reservoir in Marun Field

Kh. Noraei Nezhad ^{1*}, H. Amiri Bakhtiar ², R. Mohammadian ³ & A. Azizi ⁴

¹M.Sc., Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

²Ph.D., National Iranian South Oil Company, Ahvaz, Iran

³M.Sc., National Iranian South Oil Company, Ahvaz, Iran

⁴M.Sc. Student, Department of Geology, Faculty of Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Received: 2011 March 09

Accepted: 2012 June 17

Abstract

Marun Oil Field is located in the southern part of Dezful embayment, in the mid part of the Zagros simple folded mountain range and along the Ramin and Aghajari anticlines. In this study, based on the subsurface data and using subsurface analytical methods the folding mechanism and fractures of this anticline has been studied. In this research, using the primary results of geophysical data, analysis methods, geometric curvature changes, mud loss and reservoir engineering data, geometry of anticline and fractures associated with folding have been analyzed. Folding mechanisms in this anticline is a combination of flexural-sliding folding and folding with neutral surface. In other words, the Marun subsurface anticline is a thrust fault- related fold and also a faulted detachment fold. Seismic profiles show that the Marun anticline as a concentric fold that from surface to depth space has been decreased. This decrease of space associated with faulting in the southern flank and these faults disappear in the Gachsaran formation. A good conformity among geometric analytical methods, mud loss data, index productivity on bending region in the Marun anticline and presence of fractures in this region exist. The data analysis shows that the highest density of fractures is related to the bending region in the Marun Oil Field. Finally, using these parameters, it is recommended that for further drilling of development and production wells these parameters must be regarded and the northeastern part of the Oil Field as well as southern flank of the anticline must be given full consideration.

Keywords: Marun Oil Field, Asmari Reservoir, Folding, Faulting, Fractures.

For Persian Version see pages 37 to 46

*Corresponding author: Kh. Noraei Nezhad; E-mail: Kh.nuraei@gmail.com

Archive of SID