

# تحلیل برهم کنش روندهای گسلی بر توسعه شکستگی‌های مخزن آسماری در تاق‌دیس رگ سفید با استفاده از نمودارهای تصویرگر

مهدی یوسفی<sup>۱</sup>، سید مرتضی موسوی<sup>۲</sup>، محمدمهدی خطیب<sup>۳</sup> و محمد یزدانی<sup>۴</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

<sup>۲</sup>استادیار، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

<sup>۳</sup>استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

<sup>۴</sup>کارشناسی ارشد، شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب، اهواز، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۴/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۱۳

## چکیده

نمودارهای تصویرگر ۱۴ حلقه چاه در تاق‌دیس رگ سفید، ۶ دسته شکستگی غالب به ترتیب با امتدادهای N۴۵، N۳۵، EW، N۱۰۰، N۱۵۰ و N۱۶۲ را نشان می‌دهند. از نظر زایشی، توسعه شکستگی‌ها در بخش خاوری تاق‌دیس رگ سفید به خصوص در یال پیشانی، در اثر چین‌خوردگی وابسته به انتشار گسل با روند شمال باختری - جنوب خاوری است؛ به نحوی که بیشترین دسته شکستگی‌های باز طولی و عرضی امتدادهای N۱۰۰ و N۱۰ را نشان می‌دهند. در بخش باختری تاق‌دیس، به علت چرخش محور چین به سمت شمال به میزان ۳۰ درجه، جهت‌گیری شکستگی‌ها عوض شده است و عمده شکستگی‌ها از نوع طولی هستند و امتداد تقریباً N۱۶۰ دارند. در منطقه میانی و خمش یافته تاق‌دیس، دسته‌های شکستگی با امتداد شمال خاوری - جنوب باختری تحت تأثیر فعالیت مجدد گسل پی‌سنگی هندجان توسعه بیشتری یافته‌اند. همگرایی محورهای تنش در اثر برهم کنش سه‌گانه گسلی ناشی از راندگی رگ سفید با شیب به سمت شمال شرق و برش‌های امتدادلغز راست‌گرد در اثر تجدید فعالیت گسل‌های پی‌سنگی هندجان و قطعه جنوبی گسل ایذه، سبب ایجاد خم فشارشی (Restraining bend) و پهنه برش راست‌گرد در بخش غربی تاق‌دیس رگ سفید شده است. تشکیل این پهنه برشی باعث چرخش ساعت‌گرد محور تاق‌دیس، برخاستگی بیشتر در سرسازند آسماری کوهانک شمال باختری نسبت به کوهانک جنوب خاوری، تغییر در جهت‌گیری شکستگی‌ها و همچنین توسعه و افزایش تراکم شکستگی‌ها در منطقه خمیده تاق‌دیس رگ سفید شده است.

**کلیدواژه‌ها:** تاق‌دیس رگ سفید، نمودارهای تصویرگر، شکستگی، برهم کنش گسلی، پهنه برشی..

\*نویسنده مسئول: مهدی یوسفی

E-mail: geomehdisa31@yahoo.com

## ۱- پیش‌نوشتار

در فروافتادگی دزفول واقع در حوضه زاگرس چین‌خورده، ساختمان‌های زمین‌ساختی متأثر از برهم کنش روندهای مختلف گسلی زاگرسی و پی‌سنگی دوباره فعال شده هستند (شکل ۱). اطلاع دقیق از ویژگی‌های هندسی شکستگی‌ها در سازند کربناته آسماری از منظر پتانسیل هیدروکربوری ضروری است. زیرا این سازند یکی از مخازن اصلی در جنوب باختر ایران است. تخلخل ثانویه سازند آسماری که به خصوص برای آگاهی از مهاجرت و تولید نفت اهمیت دارد، عمدتاً در اثر توسعه شکستگی‌های وابسته به دگرشکلی کوهزایی پلیوسن تا زمان حال ایجاد شده است (Carminati et al., 2014). این شکستگی‌ها عمدتاً منشأ ساختمانی دارند و در طی فازهای فشاری مربوط به کوهزایی آلپ پایانی همزمان با حرکت افقی پوسته قاره‌ای عربستان در امتداد NNE و در اثر کوتاه‌شدگی پوسته و چین‌خوردگی رسوبات این حوضه به وجود آمده‌اند (Gholipour, 1998; Ahmadhadi et al., 2008). تاکنون مطالعات زیادی درباره الگوی شکستگی‌های سازند آسماری در رابطه با چین‌خوردگی (Gholipour, 1998; Wennberg et al., 2006; McQuillan, 1974)، روابط سنی شکستگی‌ها (Ahmadhadi et al., 2008) و تراکم شکستگی‌ها (جلیلی و همکاران، ۱۳۹۴؛ Carminati et al., 2014) انجام شده است. در زاگرس مطالعه شکستگی‌ها بیشتر در ارتباط با هندسه و مکانیسم چین‌خوردگی انجام شده (Stearns, 1968; Cosgrove and Ameen, 2000; Engelder and Peacock, 2001; Inigo et al., 2012) و به تأثیر برهم کنش گسل‌ها در ارتباط با شکستگی‌ها کمتر پرداخته شده است (Gudmundsson, 2011). البته مطالعاتی در قالب نزدیکی به گسل به عنوان کنترل‌کننده الگوی پراکنش شکستگی‌ها در سایر نقاط دنیا نیز انجام شده است (Florez-Nino et al., 2005; Gutmanis and Ardevoli, 2010). در مطالعه شکستگی‌های مخازن هیدروکربوری به‌طور کلی از اطلاعات مختلفی نظیر داده‌های ساختمانی (سطح‌الارضی و تحت‌الارضی)، داده‌های حفاری، نمودارهای تصویرگر رانده شده در چاه‌ها، داده‌های مغزه‌ها، اطلاعات تولیدی چاه‌ها و داده‌های دینامیکی

مخزن استفاده می‌شود. هدف از این مطالعه تأثیر برهم کنش روندهای مختلف گسلی و ساز و کار چین‌خوردگی درگیر در دزفول جنوبی بر الگوی پراکندگی، شدت و تغییر روند شکستگی‌ها در میدان نفتی رگ سفید است. در این مطالعه به دلیل اینکه سازند مخزنی آسماری در تاق‌دیس رگ سفید رخنمون سطحی ندارد، از داده‌های ساختمانی زیرسطحی از جمله نمودارهای تصویرگر (FMS & FMI Logs) ۱۴ حلقه چاه، مقاطع ژئوفیزیکی عمود بر محور تاق‌دیس، نقشه‌های کنتور زیرسطحی (UGC map) سرسازند آسماری، داده‌های حفاری و داده‌های دینامیکی مخزن استفاده شده است و در پایان با تلفیق اطلاعات یاد شده، تأثیر روندهای مختلف گسلی و چین‌خوردگی بر تراکم و الگوهای شکستگی‌ها تعیین می‌شود. این الگوها در ارتباط مستقیم با مدل ساختاری و تنش‌های حاکم بر منطقه هستند.

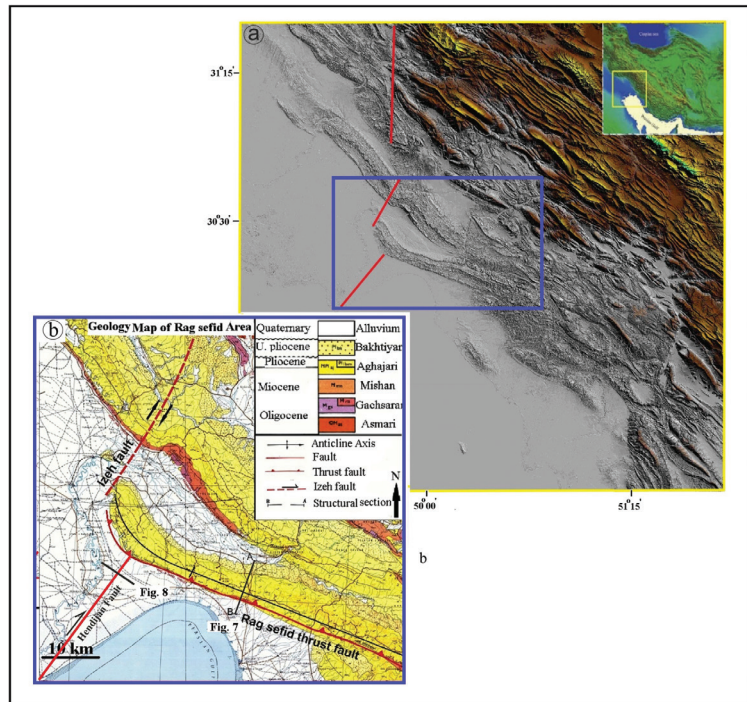
## ۲- زمین‌شناسی ناحیه‌ای و ساختاری تاق‌دیس رگ سفید

فروافتادگی دزفول (شکل ۱) بخشی از پیش‌گودال (ForeDeep) زاگرس است که در آن سازند آسماری فاقد رخنمون است. در مورد زمان شروع شکل‌گیری فروافتادگی دزفول، اگر چه قدیمی‌ترین شواهد حرکتی در کرتاسه بالایی دیده شده است، اما به نظر می‌رسد که ساختمان‌های درون این فروافتادگی و خطواره‌های محاط آن احتمالاً در تریاس و ژوراسیک فعال بوده‌اند؛ که این فعالیت تا میوسن میانی همچنان ادامه داشته است. بنابراین در شکل‌گیری این فروافتادگی و تکوین کمربند چین‌خورده - راندگی زاگرس، گسل‌ها و خطواره‌های پی‌سنگی قطر - کازرون، ایذه، خمش‌های بالارود و جبهه کوهستانی مؤثر بوده‌اند (Sephehr and Cosgrove, 2004). از لحاظ ساختاری تاق‌دیس رگ سفید در بخش جنوبی فروافتادگی دزفول از زیر پهنه زاگرس چین‌خورده قرار دارد. این تاق‌دیس به شکل بومرننگ در جنوب باختر ایران و در ۱۵۰ کیلومتری جنوب خاور اهواز واقع شده است. رخنمون‌های سطح‌الارضی در این منطقه متشکل از تپه ماهوری‌های کم

عمق دسترسی به آن حدود ۱۷۵۰ متری زیر سطح دریاست و روند محوری شمال باختر- جنوب خاور دارد که در منتهی‌الیه جنوب خاور توسط گسل عادی با جهت شیب شمال خاوری از تاق‌دیس بی‌بی حکیمه جدا می‌شود. همچنین برجستگی یا کوهانک شمال باختری که کمترین عمق دسترسی به آن حدود ۱۳۴۰ متر زیر سطح دریاست و روند تقریباً شمالی- جنوبی دارد که روند محور تاق‌دیس نسبت به جهت عمومی میدان حدود ۳۰ درجه به سمت شمال چرخش پیدا کرده است (شکل‌های ۱ و ۵).

ارتفاع از سازند آجاجاری است. سازند میشان فقط در دو پنجره فرسایشی در امتداد بخش جنوب باختری ساختمان دیده می‌شود و سازندهای قدیمی‌تر از میشان در سطح زمین رخنمون ندارند. این تاق‌دیس در افق مخزنی آسماری دارای طول تقریبی ۵۴ کیلومتر و عرض متغیر ۴ تا ۸/۳ کیلومتر است. تاق‌دیس مذکور از نوع نامتقارن، و شیب زیاد در یال جنوب باختری آن متأثر از گسل‌های راندگی فراوان در یال جلویی است. این تاق‌دیس بر روی افق آسماری دارای دو کوهانک یا برجستگی با دو روند محوری متفاوت است: برجستگی یا کوهانک جنوب خاوری که کمترین

شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی محدوده گسترش تاق‌دیس رگ سفید که در کمربند چین رانده زاگرس (Sepher and Cosgrove, 2004) با مستطیل آبی نشان داده شده است.



### ۳- روش مطالعه

نیز به سمت پایین‌ترین نقطه موج سینوسی شکل قرار می‌گیرد (شکل ۲- ب). به دلیل اینکه سازند مخزنی آسماری در تاق‌دیس رگ سفید رخنمون سطحی ندارد، از داده‌های ساختمانی زیرسطحی از جمله نمودارهای تصویرگر (FMS & FMI Logs) مربوط به ۱۴ حلقه چاه، اطلاعات هرزروی گل حفاری در چاه‌ها، اطلاعات دینامیکی مخزن و نقشه هم‌انحنای ساختمانی برای حصول پارامترهای آماری مربوط به توسعه شکستگی‌های طبیعی از جمله جهت‌گیری و تراکم شکستگی‌ها استفاده شد. نهایتاً با بررسی خطواره‌های گسلی در گیر در منطقه، مقاطع ژئوفیزیکی عمود بر محور تاق‌دیس، نقشه‌های کانتورهای زیرسطحی (UGC) سرسازند آسماری، رابطه بین برهم کنش روندهای گسلی و تأثیر سبک چین‌خوردگی بر توسعه شکستگی‌ها و خمش ساختاری در تاق‌دیس رگ سفید تحلیل می‌شود.

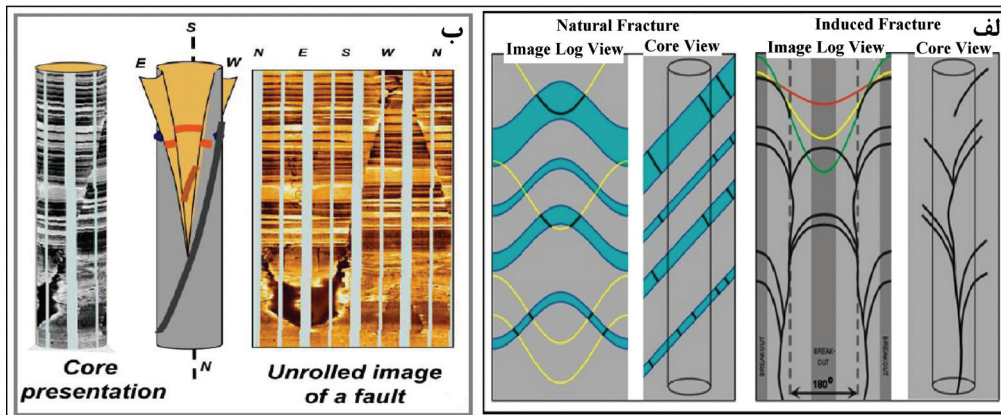
#### ۳-۱. آنالیز شکستگی‌ها

– اطلاعات نمودارهای تصویرگر: اطلاعات نمودارهای تصویرگر (FMS & FMI) در مخزن آسماری میدان رگ سفید، برای ۱۴ حلقه چاه شامل چاه‌های شماره ۵۲، ۵۵، ۶۱، ۶۳، ۶۴، ۶۷، ۷۰، ۷۱، ۷۴، ۸۳، ۱۱۱، ۱۱۸، ۱۱۹ و ۱۲۸ موجود است. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، چاه‌های دارای نمودار تصویرگر پراکندگی نسبتاً خوبی در مخزن دارند. با تفسیر و تحلیل نمودارهای تصویری، ویژگی‌های هندسی لایه‌بندی و دسته‌بندی شکستگی‌های طبیعی باز غالب (مثل شیب، جهت شیب، امتداد، تراکم) مربوط به هر چاه در بخش‌های مختلف تاق‌دیس بررسی و دسته‌بندی شدند. به عنوان نمونه نمودارهای تصویرگر در چاه شماره ۱۱۸ واقع در یال شمالی بخش خاوری تاق‌دیس رگ سفید (شکل ۴) جهت تعیین مشخصات هندسی لایه‌بندی

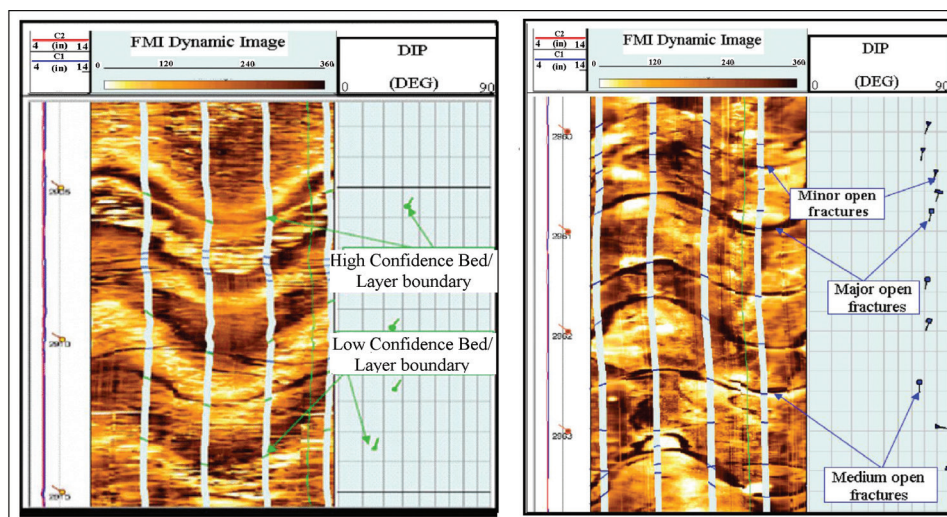
برای شناسایی و تشخیص شکستگی‌های طبیعی از شکستگی‌های ناشی از عملیات حفاری (Induced fractures) از پارامترهای تفسیر در نمودارگیری تصویری استفاده می‌شود. متمایز کردن شکستگی‌های طبیعی از شکستگی‌های ناشی از عملیات حفاری، امری بسیار مهم است. در تحلیل شکستگی‌های حاصل از عملیات حفاری، سطوح این دسته از شکستگی‌ها ناصاف و فاقد هرگونه عوارض حاصل از انحلال هستند. این شکستگی‌ها در صورتی که محور چاه به موازات یکی از تنش‌های اصلی باشد، حالت کاملاً عمودی و در غیر این صورت حالت دندانه‌دار به خود می‌گیرد که به شکستگی‌های پله‌ای معروف هستند. شکستگی‌های پله‌ای و شکستگی‌های طبیعی تصاویر مشابهی بر روی نمودارهای تصویرگر ایجاد می‌کنند که موجب اشتباه گرفتن آنها با یکدیگر می‌شود. 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 القایی که در اثر فشار سیال حفاری بر سازند شکل می‌گیرند، معمولاً نامتقارن هستند و بنابراین اثر سینوسی نیز ندارند (شکل ۲- الف). نمایش دوبعدی تصاویر الکتریکی و صوتی دیواره چاه به شکل یک سیلندر باز شده است 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 یک مولفه شیب دارند)، 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 آزیموت شیب

طولی هم راستای لایه‌بندی با امتداد N80W قرار می‌گیرند. دسته شکستگی‌های عرضی تقریباً عمود بر امتداد لایه‌بندی و با امتداد N35E قرار دارند. شکستگی‌های مورب شامل دسته شکستگی‌های با روند N030W هستند.

و شکستگی‌های باز در شکل ۳ نشان داده شده است. لایه‌بندی سازند آسماری بر اساس تفسیر نمودار تصویر گر این چاه دارای موقعیت  $N63W, 22.5 NE$  است. انواع شکستگی‌های باز در این چاه در دسته‌های زیر قرار می‌گیرند: دسته شکستگی‌های



شکل ۲- الف) تقارن و سینوسیته شکستگی طبیعی و ناتقارنی و عدم سینوسیته شکستگی القایی در نمودارهای تصویر گر؛ ب) نمایش دو بعدی از روش محاسبه مقدار شیب شکستگی‌ها در چاه حفاری با استفاده از نمودارهای تصویر گر.



شکل ۳- نمودارهای تصویر گر: الف) تصویر دینامیک دیواره چاه به منظور نمایش شکستگی‌های باز طبیعی مخزن آسماری در چاه ۱۱۸؛ ب) تصویر دینامیکی دیواره چاه به منظور نمایش لایه‌بندی مخزن آسماری در چاه ۱۱۸ (با تغییرات از عباس‌فانی و پیروزنیا، ۱۳۸۹).

این روندهای شکستگی مشهود است (شکل ۴).

**تراکم شکستگی‌ها:** شدت شکستگی به دلیل افزایش تخلخل و تراوایی به عنوان یکی از مهم‌ترین متغیرهای مؤثر در بهره‌وری و ناپایداری چاه‌ها در مخازن کربناته در کمربندهای چین-رانده شناخته می‌شود (Wennberg et al., 2006; Awdal et al., 2013; Zoback, 2007). شدت شکستگی‌ها توسط سازوکار چین خوردگی، نزدیکی به گسل، ویژگی‌های مکانیکی سنگ (اندازه دانه، ترکیب و تخلخل) و ستبرای لایه کنترل می‌شوند (Wennberg et al., 2006). مطالعات پیشین روی شکستگی‌ها در زاگرس، موقعیت ساختاری را به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر شدت شکستگی‌ها می‌داند (Gholipour, 1988; Awdal et al., 2013). در برابر آن McQuillan (1974) شدت شکستگی‌ها در تاقدیس کوه آسماری را متأثر از ستبرای لایه‌ها دانسته و موقعیت ساختاری را کم‌تأثیر عنوان کرده است. جلیلی و همکاران (۱۳۹۴) در مطالعه تاقدیس کوه آسماری نشان دادند که بیشترین شدت شکستگی‌های چین در لولای چین و کنترل‌کننده اصلی شدت شکستگی‌ها، هندسه و سازوکار چین خوردگی است. همچنین مطالعات Carminati (2014) نزدیکی به گسل را از عوامل اصلی افزایش شکستگی در تاقدیس سربالشی می‌داند. با

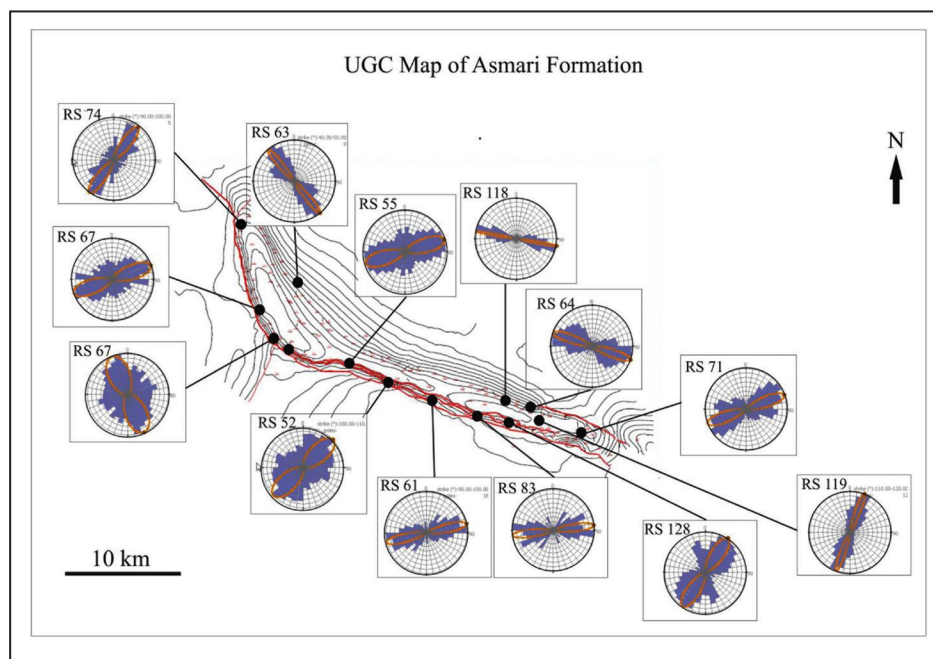
همچنین برای بقیه چاه‌های دارای نمودار تصویر گر، امتداد شکستگی‌های غالب در شکل ۵ نمایش داده شده است. در تحلیل شکستگی‌های حاصل از تفسیر نمودارهای تصویر گر رانده شده در ۱۴ چاه میدان رگ سفید، به‌طور کلی ۶ دسته شکستگی باز تعیین شد که مهم‌ترین (از نظر تراکم و تعداد) آنها دسته شکستگی‌هایی به ترتیب با روندهای  $N45, N35, EW, N100, N150$  و روند  $N162$  هستند. بر اساس نحوه چین خوردگی و چرخش ساختاری میدان، از میان انواع مختلف شکستگی‌های مشاهده شده، دسته شکستگی‌های طولی (به موازات امتداد لایه بندی‌ها) در بخش خاوری تاقدیس (چاه‌های شماره ۵۲، ۵۵، ۶۱، ۶۴، ۷۱، ۸۳، ۱۱۸، ۱۱۹، ۱۲۸) دارای روند کلی  $N100$  و در بخش باختری (چاه‌های شماره ۶۳، ۷۰، ۷۴) دارای روند  $N160$  هستند. دسته شکستگی‌های عرضی (عمود بر امتداد لایه بندی) نیز روند تقریبی  $N10$  در بخش خاوری و روند  $N35$  در بخش باختری دارند. دسته شکستگی‌های مورب نیز در بخش خاوری دارای روند تقریبی  $N60$  و  $N150$  و در بخش باختری دارای روند تقریبی  $N110$  و  $N200$  هستند. همچنین در چاه‌های واقع در منطقه خم‌ش یافته تاقدیس (چاه‌های شماره ۶۷ و ۱۱۱) دسته‌های دیگر شکستگی با امتداد شمال شمال خاور- جنوب جنوب باختر توسعه یافته‌اند که در نمودار گلسرخ این دوچاه، توسعه



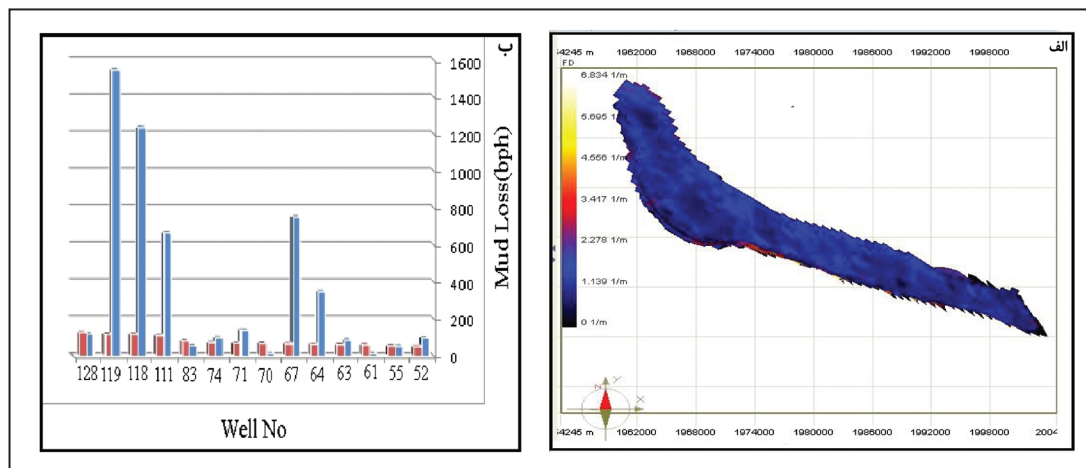
گم‌شدگی گل، در بعضی مواقع می‌تواند نشانگر وجود شکستگی در چاه باشد. البته باید توجه داشت که تغییر شرایط حفاری مانند تغییر وزن گل یا اضافه کردن مواد کنترل‌کننده هرزروی می‌تواند موجب افزایش یا کاهش میزان هرزروی گل در مخزن شود. به همین دلیل باید دیگر پارامترها مثل شدت و تراکم شکستگی‌ها مورد توجه قرار گیرند و مقایسه شوند. بررسی و مقایسه میزان هرزروی گل حفاری در تاق‌دیس رگ سفید، وجود یک هماهنگی میان منطقه خمش ساختاری و مناطق نزدیک گسل‌ها را - که تراکم شکستگی‌ها بیشتر شده‌اند - با نقاطی که دارای بیشینه هرزروی گل حفاری هستند، نشان می‌دهد. به طوری که بیشترین مقادیر هرزروی گل حفاری به ترتیب در چاه‌های شماره ۱۱۹ و ۱۱۸ در یال شمالی و قسمت خاوری میدان و در چاه‌های شماره ۱۱۱ و ۶۷ در منطقه خمش یافته دیده می‌شود (شکل ۵-ب). این امر می‌تواند به علت عملکرد و توسعه سیستم شکستگی‌های وابسته به گسل در این نواحی باشد.

بررسی اطلاعات هندسی شکستگی‌های باز و شمارش تعداد آنها در بخش‌های مختلف مخزنی سازند آسماری در تاق‌دیس رگ سفید و با تقسیم تعداد شکستگی‌های ثبت شده در هر بخش به ضخامت همان بخش، تراکم شکستگی‌های باز به دست آمد. تراکم شکستگی‌ها در افق آسماری رگ سفید بین ۰/۱ تا ۸/۶ شکستگی در هر متر است (عبابافی و پیروزی، ۱۳۸۹). بیشترین تراکم شکستگی در تاق‌دیس رگ سفید به ترتیب در بخش مرکز و خمش یافته تاق‌دیس، در چاه‌های مجاور راندگی‌های اصلی یال جنوبی و در قسمت باختر میدان که محور تاق‌دیس به سمت شمال منحرف شده است و همچنین در منتهی الیه دامنه شمال خاوری در نزدیکی گسل نرمال مشاهده می‌شود. بنابراین فاصله از گسل عامل اصلی تراکم شکستگی در تاق‌دیس رگ سفید است (شکل ۵-الف).

- **هرزروی گل حفاری:** در مقیاس چاه، استفاده از اطلاعات هرزروی گل می‌تواند در شناسایی پهنه‌های خرد شده مورد استفاده قرار گیرد. به طور مثال وقوع پدیده



شکل ۴- نقشه UGC و نمایش امتداد شکستگی‌های غالب مخزن آسماری در چاه‌های تاق‌دیس رگ سفید با استفاده از نمودارهای تصویرگر.

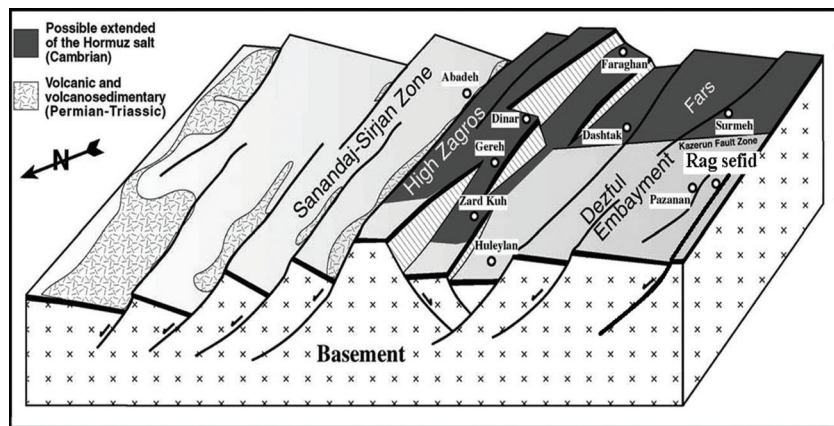


شکل ۵- نقشه سه‌بعدی تراکم شکستگی‌ها در مخزن آسماری رگ سفید. نقاط با رنگ تیره تراکم بیشتر شکستگی و نواحی نزدیک به گسل را نشان می‌دهند (عبابافی و پیروزی، ۱۳۸۹؛ ب) نمودار میزان هرزروی گل حفاری در چاه‌های تاق‌دیس رگ سفید. همان‌طور که نمودار نشان می‌دهد بیشترین میزان هرزروی در منطقه خمش یافته و چاه‌های مجاور گسل اتفاق می‌افتد. به موقعیت چاه‌ها در شکل ۴ توجه شود.

#### ۴- تأثیر سبک چین خوردگی و گسلش بر توسعه شکستگی‌ها

شکستگی‌ها در زاگرس در فرایند چین خوردگی و در اثر گسل خوردگی‌های بعدی در واحدهای سنگی توسعه می‌یابند (Ahmadhadi et al., 2008; Casini et al., 2011; Tavani et al., 2011). در فرافتادگی دزفول دسته شکستگی‌ها در سازند آسماری با چین خوردگی خمشی ایجاد شده‌اند و سپس متأثر از اثر فعالیت گسل‌های طولی و عرضی قطع کننده این چین‌ها، دسته شکستگی‌های جدیدتر در آهک‌های سازند آسماری توسعه یافته‌اند (Ahmadhadi et al., 2008). همچنین به باور Stephenson et al. (2007) در کمربندهای راندگی گسترش شکستگی‌های موازی و عمود بر محور چین، مرتبط با سازوکار خمشی-لغزشی و کشش کمان بیرونی سطح چین خورده است. به باور Sephr and Cosgrove (2004) راندگی رنگ سفید از سری گسل‌های پی سنگی کششی بوده است که در طی بازشدگی اقیانوس نئوتتیس در پرمین تریاس با امتداد شمال غرب-جنوب شرق ایجاد شده و در فاز برخوردی زاگرس حرکت راندگی را تجربه کرده است (شکل ۶). یال عقبی با شیب کمتر و فرادیواره مسطح (شکل ۷)، نشانه‌ای از ساختار درگیر پی سنگ است (Sephr and Cosgrove, 2004). با توجه به مطالعات (Sattarzadeh et al., 2000) تاقدیس رنگ سفید بر پایه متغیر هندسی نسبت طول محور به پهنای چین از نوع تحمیلی و وابسته به انتشار گسل است.

شکستگی‌ها در زاگرس در فرایند چین خوردگی و در اثر گسل خوردگی‌های بعدی در واحدهای سنگی توسعه می‌یابند (Ahmadhadi et al., 2008; Casini et al., 2011; Tavani et al., 2011). در فرافتادگی دزفول دسته شکستگی‌ها در سازند آسماری با چین خوردگی خمشی ایجاد شده‌اند و سپس متأثر از اثر فعالیت گسل‌های طولی و عرضی قطع کننده این چین‌ها، دسته شکستگی‌های جدیدتر در آهک‌های سازند آسماری توسعه یافته‌اند (Ahmadhadi et al., 2008). همچنین به باور Stephenson et al. (2007) در کمربندهای راندگی گسترش شکستگی‌های موازی و عمود بر محور چین، مرتبط با سازوکار خمشی-لغزشی و کشش کمان بیرونی سطح چین خورده است. به باور Sephr and Cosgrove (2004) راندگی رنگ سفید از سری گسل‌های پی سنگی کششی بوده است که در طی بازشدگی اقیانوس نئوتتیس در پرمین تریاس با امتداد شمال غرب-جنوب شرق ایجاد شده و در فاز برخوردی زاگرس حرکت راندگی را تجربه کرده است (شکل ۶). یال عقبی با شیب کمتر و فرادیواره مسطح (شکل ۷)، نشانه‌ای از ساختار درگیر پی سنگ است (Sephr and Cosgrove, 2004). با توجه به مطالعات (Sattarzadeh et al., 2000) تاقدیس رنگ سفید بر پایه متغیر هندسی نسبت طول محور به پهنای چین از نوع تحمیلی و وابسته به انتشار گسل است.



شکل ۶- مدل سه بعدی نشان‌دهنده اثر کشش پرموتریاس در پی سنگ زاگرس (Sephr and Cosgrove, 2004).

#### ۴-۱. تأثیر گسل‌های راندگی بر توسعه شکستگی‌های همراه با چین خوردگی در بخش خاوری تاقدیس رنگ سفید

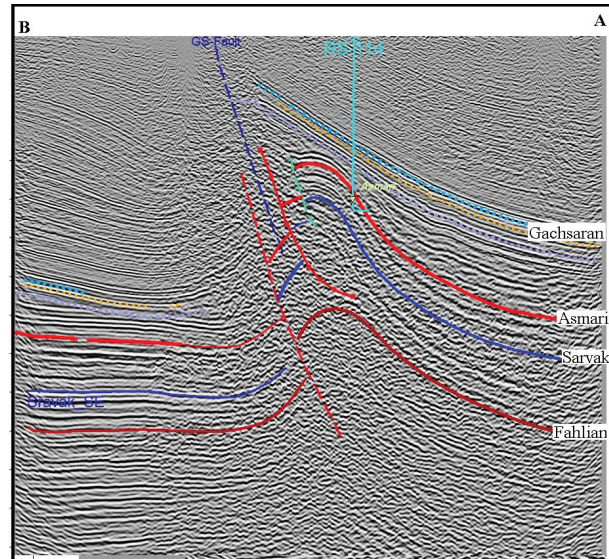
نتایج درصد فراوانی و نمودارهای گل‌سرخ شکستگی‌ها در بخش خاوری تاقدیس رنگ سفید (چاه‌های شماره ۵۲، ۵۵، ۶۱، ۶۴، ۷۱، ۸۳، ۱۱۸، ۱۱۹ و ۱۲۸)، توسعه و افزایش فراوانی شکستگی‌های طولی و عرضی با امتدادهای N۱۰ و N۱۰۰ را نشان می‌دهند (شکل ۴). با توجه به امتداد گسل‌های راندگی یال جنوبی (شکل ۷)، توسعه شکستگی‌ها در بخش خاوری تاقدیس رنگ سفید تابع راندگی یال پیشانی با روند شمال باختر-جنوب خاوری است، که از الگوی توزیع شکستگی‌ها در چین‌های تحمیلی فشارشی ارائه شده توسط Cosgrove and Ameen (2000) پیروی می‌کند. در چین‌های فشارشی امتداد اکثر شکستگی‌ها موازی و عمود بر روند راندگی زیرین است و با دور شدن از گسل شدت دگرشکلی کم می‌شود. همچنین تراکم دسته‌های شکستگی‌ها در یال پیشانی بیشتر از یال پشتی بوده که مؤید افزایش دگرشکلی متأثر از راندگی در یال پیشانی در این ناحیه تاقدیس است (شکل ۵). چنین شواهدی با مطالعات صورت گرفته در تاقدیس Turtle در آلبرای کانادا (Humair et al., 2013)، تاقدیس کوه Sheep (Bellahsen et al., 2006) و تاقدیس کوه آسماری (جلیلی و همکاران، ۱۳۹۴) که در آنها نیز یال‌های پیشانی گسل خورده با توسعه شکستگی‌ها همراه بوده‌اند، همخوانی و مطابقت دارد.

دانه‌بندی، تخلخل، موقعیت ساختاری و ضخامت مکانیکی لایه‌ها کنترل می‌شوند. علاوه بر موارد بالا، در کمربندهای چین-رانده، فاصله از گسل‌های امتدادلغز عرضی که محور چین‌ها را منحرف کرده‌اند، در کنترل تراکم شکستگی‌ها نقش دارد (Carminati et al., 2014). بر اساس نتایج پارامترهای دسته شکستگی‌ها در بخش باختری تاقدیس رنگ سفید (چاه‌های شماره ۶۳ و ۷۴)، به علت چرخش محور چین، شکستگی‌های طولی و عرضی و همچنین مورب با تغییر جهت مواجه شده‌اند و این نشان می‌دهد که الگوی توزیع شکستگی‌ها متأثر از عملکرد بخش پایینی گسل عرضی ایده است. این گسل پی سنگی شمال شمال خاوری-جنوب جنوب باختری (شکل ۱)، از سری خطواره‌های به ارث رسیده از حاشیه شمالی سپر عربی بوده که در زمان پرمین-تریاس همزمان با کافت نوتتیس به صورت عادی با شیبی به سوی خاور ایجاد شده است (Abdollahie Fard et al., 2006). از زمان کرتاسه بالایی با آغاز همگرایی مایل ورق عربی و ایران مرکزی، حرکت آن از مایل لغز عادی به مایل لغز وارون تغییر کرده است که موجب بالآمدگی سوی خاوری گسل، چرخش بلوک‌های پی سنگی و تأثیر بر روی پوشش رسوبی همچون خمش روند اثر محوری چین‌های اصلی، گسترش گسل‌های امتدادلغز نردبانی و مناطق تحت فشار میان آنها شده است (داودی و یساقی، ۱۳۹۰). گسل عرضی ایده علاوه بر تغییر در روند اثر سطح محوری تاقدیس رنگ سفید، باعث توسعه شکستگی‌های طولی با روند N۱۶۰

۴-۲. تأثیر گسل عرضی ایده بر توسعه شکستگی‌ها در بخش باختری تاقدیس رنگ سفید توسعه و تراکم شکستگی‌های وابسته به چین خوردگی توسط ترکیب سنگ، بافت،

و توسعه شکستگی‌های با روند شمالی- جنوبی و خاوری- باختری در ناحیه فارس (شکل ۴). همچنین افزایش تراکم شکستگی‌ها در دماغه شمال باختری و افزایش هرزروی گل حفاری در این بخش، مؤید تأثیر گسل ایذه بر تمرکز شکستگی‌ها در این ناحیه از تاق‌دیس است (شکل ۵). در مطالعات دیگر، تشکیل

شکستگی عرضی عمود بر محور تاق‌دیس رگ سفید (مقطع AB در شکل ۱). به انتشار گسل در یال جنوبی توجه شود.

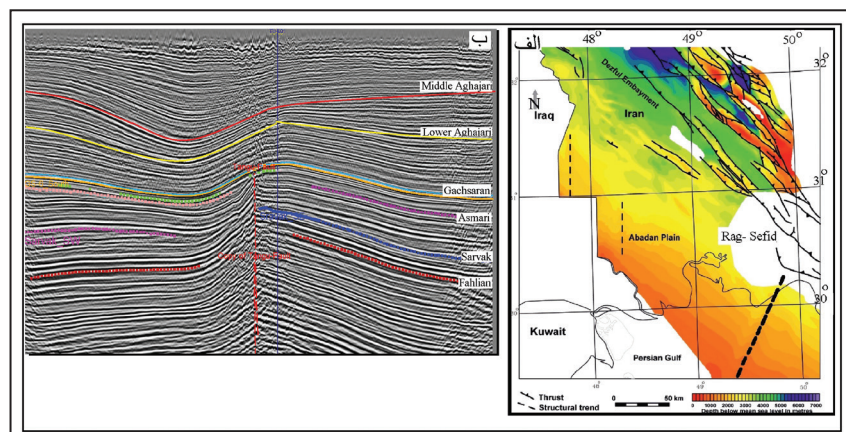


### ۳-۴. تأثیر گسل پی‌سنگی هندیدجان بر توسعه و تراکم شکستگی‌ها در تاق‌دیس رگ سفید

شمال خاوری- جنوب باختری و عمود بر روند عمومی زاگرس و تاق‌دیس رگ سفید قابل شناسایی است (Bahroudi and Talbot, 2003) (شکل ۹). ناپوستگی مشخص کرتاسه بالایی، فعالیت‌های متناوب گسل پی‌سنگی هندیدجان را طی کرتاسه بالایی منعکس می‌کند. نازک‌شدگی رسوبات کرتاسه پایینی سازند فهلیان تا پلوسن بالایی سازند آغاجری (شکل ۸-ب) با فعالیت زمین‌ساختی و برخاستگی گسل هندیدجان طی کرتاسه و ترشیری تطابق دارد (Abdollahie Fard et al., 2006).

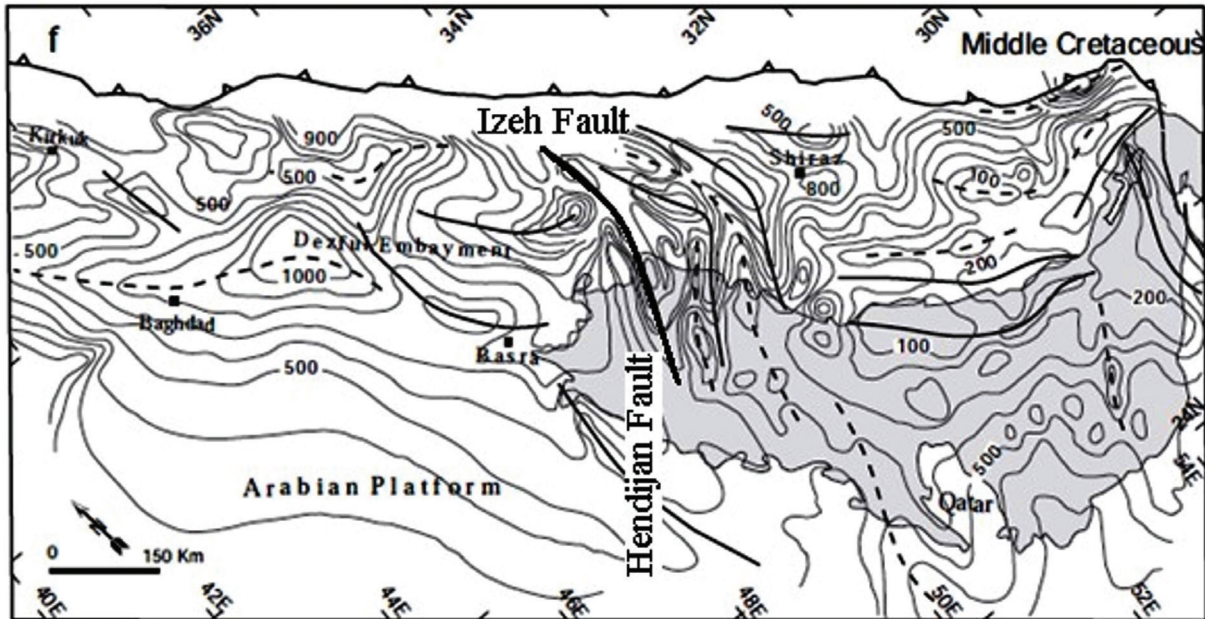
تجدید فعالیت گسل پی‌سنگی هندیدجان در اثر همگرایی مایل میان ورق عربی و ایران مرکزی به شکل امتدادلغز راست‌گرد، باعث تشکیل گسل‌های پارگی (Tear faults) عمود بر امتداد تاق‌دیس رگ سفید شده است. عملکرد گسل هندیدجان بر توسعه و تراکم شکستگی‌های تاق‌دیس رگ سفید تأثیرگذار است؛ به گونه‌ای که باعث افزایش و توسعه دسته شکستگی‌هایی با امتداد N۴۵ در ناحیه خمیش یافته (چاه‌های شماره ۶۷، ۷۰ و ۱۱۱) شده است (شکل‌های ۴ و ۱۰). همچنین تجدید فعالیت گسل هندیدجان باعث افزایش شدت و تراکم شکستگی‌ها در بخش خمیده تاق‌دیس رگ سفید شده است (شکل ۵). در ناحیه خمیش یافته تاق‌دیس میزان هرزروی گل حفاری به میزان زیادی افزایش یافته است که تأثیر فعالیت گسل هندیدجان بر افزایش تراکم شکستگی در بخش خمیش یافته تاق‌دیس را تأیید می‌کند.

مطالعات پیشین در فروافتادگی دزفول تغییر در روندهای ساختاری را عمدتاً به برهم‌کنش‌های دوگانه ناشی از گسل‌های زاگرسی شمال باختری- جنوب خاوری و گسل‌های عرضی شمال جنوبی نسبت داده‌اند. علاوه بر دو روند گسلی زاگرسی (گسل معکوس رگ سفید) و قطعه پایینی گسل ایذه (امتداد لغز راست‌گرد)، فعالیت مجدد سومین گسل پی‌سنگی با امتداد شمال خاور- جنوب باختر به نام گسل هندیدجان، تاق‌دیس رگ سفید را تحت تأثیر قرار داده است. (Abdollahie Fard et al., 2006) در معرفی بلندی‌های قدیمه زاگرس با استفاده خطی شدن روند تاق‌دیس‌ها و همچنین مکان‌یابی خطواره پی‌سنگی در نقشه منحنی‌های عمقی (Depth contour map) سازند آسماری که با تشکیل بی‌هنجاری واضح با امتداد شمال خاور- جنوب باختر (خط چین چین ضخیم در شکل ۸-الف) مشهود است، امتداد گسل پی‌سنگی هندیدجان را شمال خاور- جنوب باختر معرفی می‌کند که بر روند ساختارهای اصلی زاگرس با امتداد شمال باختر- جنوب خاور و تاق‌دیس رگ سفید عمود است. همچنین در نقشه هم‌ضخامت (Isopach maps) کرتاسه میانی حوضه زاگرس که در آن تغییرات ضخامت حوضه‌های لرستان و فارس به فعالیت گسل‌های ایذه و کازرون نسبت داده می‌شود، خطواره پی‌سنگی هندیدجان با امتداد



شکل ۸- الف) نقطه‌چین ضخیم مکان‌یابی خطواره پی‌سنگی هندیدجان در نقشه منحنی‌های عمقی سازند آسماری با امتداد شمال شرق- جنوب غرب را نشان می‌دهد (Abdollahie Fard et al., 2006)؛ ب) مقطع لرزه‌ای عمود بر بلندی هندیدجان و تأثیر این گسل بر تغییر ضخامت رسوبات.





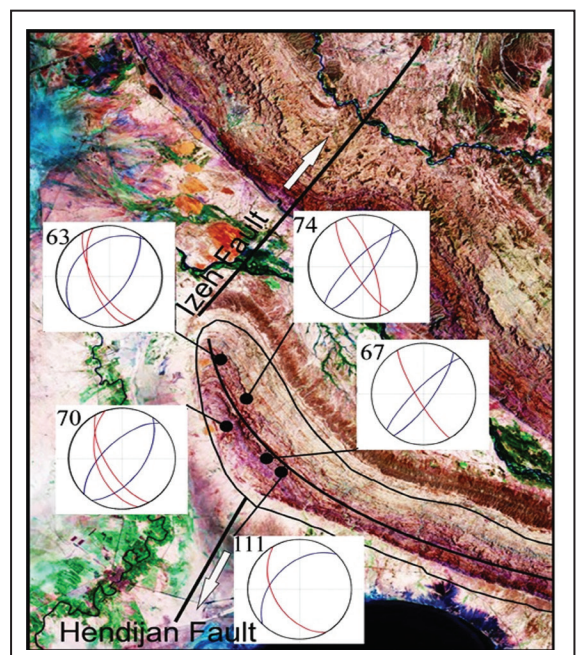
شکل ۹- نقشه هم‌ضخامت از کرتاسه میانی حوضه زاگرس که در آن امتداد شمال خاوری بلندی هندیمان با خط ضخیم دیده می‌شود. همچنین در این نقشه امتداد گسل ایذه دارای امتداد شمال جنوبی و نسبت به روند زاگرس مورب است (Bahroudi and Talbot, 2003).

مایل‌لغز تجدید فعالیت کرده‌اند. در تاقدیس رگ سفید همگرایی پس از برخورد در زاگرس باعث تجدید فعالیت گسل‌ها به شکل راندگی در گسل یال جلویی و به شکل امتدادلغز راست‌گرد در روندهای پی‌سنگی ایذه و هندیمان شده است. با توجه به تشکیل خم چپ‌پله ناشی از حرکات امتدادلغز راست‌گرد در قطعه جنوبی گسل ایذه و گسل هندیمان، بخش باختری تاقدیس رگ سفید به علت واقع شدن در ناحیه خم فشارشی (Restraining bend) بین این گسل‌ها، دچار تشدید فشردگی و افزایش برخاستگی شده است. برهم کنش سه گانه و همگرایی محورهای تنش ناشی از فعالیت این گسل‌ها، در بخش باختری تاقدیس رگ سفید، پهنه برشی راست‌گرد ایجاد کرده است (شکل ۱۱). تشکیل این پهنه برشی باعث چرخش ساعت‌گرد محور تاقدیس رگ سفید به میزان ۳۰ درجه، برخاستگی بیشتر در سرسازند آسماری کوهانک شمال باختری نسبت به کوهانک جنوب خاوری به میزان ۴۰۰ متر، تغییر در جهت‌گیری شکستگی‌ها و همچنین افزایش تراکم شکستگی‌ها در منطقه خمیده تاقدیس شده است (شکل‌های ۵ و ۱۰).

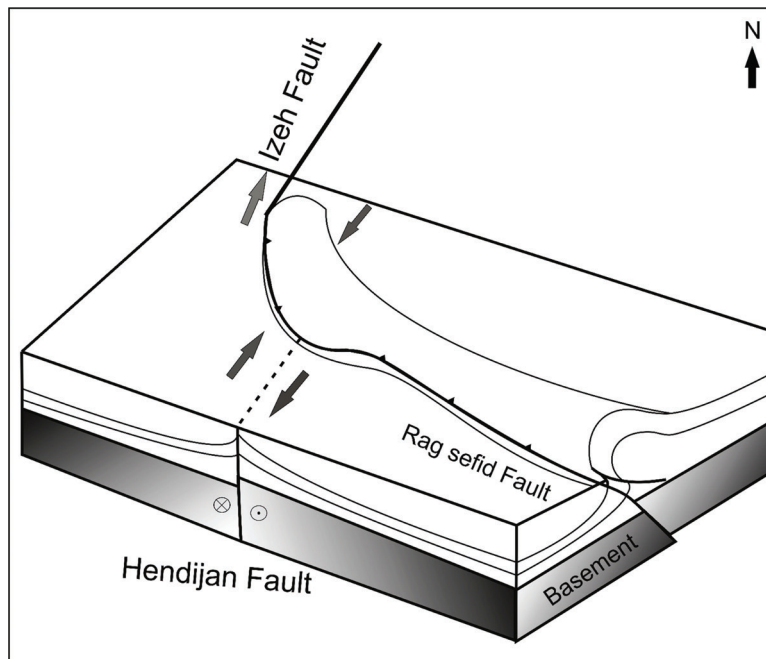
#### ۴-۴. تأثیر برهم کنش سه‌گانه روندهای گسلی بر چرخش ساختمانی در تاقدیس

##### رگ سفید

منشأ چین‌های خم‌ش یافته در کمربندهای کمانی شکل به اشکال گوناگونی بیان شده است. برای مثال برش در امتداد گسل‌های عرضی پی‌سنگی و پنهان می‌تواند در رسوبات رویی چین‌های نردبانی ایجاد کند (Richard et al., 1991). Sattarzadeh et al. (2000) بر پایه شواهد ژئومتریکی، یک منشأ مشابه را برای چین‌های خطی و نردبانی در اطراف گسل کازرون پیشنهاد دادند. در زاگرس شکل خمیده تاقدیس‌ها به دلیل نزدیکی به گسل‌های امتدادلغز عرضی است که با روش‌های مغناطیسی و دیرینه مغناطیسی مشاهده شده‌اند (Aubourg et al., 2004; Smith et al., 2005). در طی همگرایی مایل میان ورقه‌های ایران و عربی از زمان کرتاسه بالایی، علاوه بر وارونگی زمین‌ساختی و حرکات راندگی در گسل‌های نرمال از قبل موجود با امتدادی موازی کوهزاد زاگرس (شکل ۶)، روندهای پی‌سنگی عرضی در حاشیه شمالی سپر عربی نیز با توجه به امتداد به ارث رسیده آنها به صورت



شکل ۱۰- جهت‌گیری شکستگی‌ها در بخش باختری و خم‌ش یافته تاقدیس رگ سفید تحت تأثیر تجدید فعالیت گسل‌های پی‌سنگی جنوب ایذه و هندیمان (شکستگی‌های طولی با کمان قرمز و شکستگی‌های عرضی با کمان آبی مشخص شده‌اند).



شکل ۱۱- مدل سه بعدی پیشنهادی که تأثیر برهم کنش گسل‌ها را در تشکیل پهنه برشی و چرخش محوری ساختمان رگ سفید نشان می‌دهد.

## ۵- نتیجه‌گیری

بر توسعه و تراکم شکستگی‌های تاقدیس رگ سفید باعث افزایش و توسعه دسته شکستگی‌هایی با امتداد N۴۵ در ناحیه خمش یافته مرکز شده است. نزدیکی به گسل بیشترین تأثیر را در تراکم شکستگی‌های تاقدیس رگ سفید دارد. به شکلی که در بخش خمش یافته و در مناطق مجاور راندگی‌های اصلی یال جنوبی و بخش منحرف شده غربی، بیشترین تراکم و شدت در شکستگی‌ها دیده می‌شود. برهم کنش سه گانه و همگرایی محورهای تنش ناشی از راندگی رگ سفید با شیب به سمت شمال خاور و برش‌های امتدادلغز راست‌گرد در اثر تجدید فعالیت گسل‌های پی‌سنگی هنديجان و قطعه جنوبی گسل ایذه، باعث ایجاد پهنه برشی راست‌گرد و خم فشارشی (Restraining bend) در بخش باختری تاقدیس رگ سفید شده است. تشکیل این پهنه برشی باعث چرخش ساعت‌گرد محور تاقدیس به میزان ۳۰ درجه، برخاستگی بیشتر در سرسازند آسماری کوهانک شمال باختری نسبت به کوهانک جنوب خاوری به میزان ۴۰۰ متر، تغییر در جهت‌گیری شکستگی‌ها و همچنین افزایش تراکم شکستگی‌ها در باختر تاقدیس رگ سفید شده است.

## سپاسگزاری

این تحقیق با همکاری شرکت ملی مناطق نفت خیز جنوب انجام شده است. لذا بدین وسیله از معاونت محترم زمین‌شناسی گسترشی برای مساعدت و همکاری سپاسگزاری می‌شود.

بررسی نقشه هم‌انحنا، کنتورهای زیرسطحی UGC و مقاطع ژئوفیزیکی نشان می‌دهد که تاقدیس رگ سفید یک چین نامتقارن تحمیلی و ناشی از فشردگی مرتبط با انتشار گسل است که در اثر تجدید فعالیت گسل‌های پی‌سنگی، محور آنها دچار چرخش به سمت شمال شده است. بر اساس تحلیل شکستگی‌های حاصل از تفسیر نمودارهای تصویرگر رانده شده در ۱۴ چاه میدان رگ سفید، به‌طور کلی ۶ دسته شکستگی باز مشخص شد که مهم‌ترین آنها (از نظر تراکم و تعداد)، دسته شکستگی‌هایی به ترتیب با روندهای N۴۵، N۳۵، EW، N۱۰، N۱۵۰ و روند N۱۶۲ هستند. نتایج درصد فراوانی و نمودارهای گل‌سرخ شکستگی‌ها در بخش خاوری تاقدیس رگ سفید، توسعه و افزایش فراوانی شکستگی‌هایی طولی و عرضی با امتدادهای N۱۰ و N۱۰۰ را نشان می‌دهند. از نظر زایشی توسعه شکستگی‌ها در بخش خاوری تاقدیس رگ سفید، به‌خصوص در یال پیشانی چین، به علت چین خوردگی وابسته به انتشار گسلش با روند شمال باختری- جنوب خاوری به موازات روند عمومی زاگرس است. در حالی که در چاه‌های واقع در بخش شمال باختری تاقدیس رگ سفید، تحت تأثیر تجدید فعالیت قطعه جنوبی گسل ایذه و به علت چرخش محور چین، شکستگی‌ها با تغییر جهت مواجه شده‌اند؛ به طوری که شکستگی‌های طولی، امتدادی تقریباً شمال جنوب N۱۶۰ و شکستگی عرضی امتداد N۳۵ دارند. تجدید فعالیت گسل پی‌سنگی هنديجان در اثر همگرایی مایل میان ورق غربی و ایران مرکزی به شکل امتدادلغز راست‌گرد، باعث تشکیل گسل‌های پارگی (Tear faults) عمود بر امتداد تاقدیس رگ سفید شده است. عملکرد گسل هنديجان



**کتابنگاری**

- جلیلی، ی.، خطیب، م. م. و یساقی، ع.، ۱۳۹۴- ارزیابی متغیرهای کنترل کننده شدت شکستگی در توالی‌های رسوبی سازند آسماری در تاقدیس کوه آسماری، زاگرس چین‌خورده، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۹۴، ص. ۱۴۹ تا ۱۶۲.
- داوودی، ز. و یساقی، ع.، ۱۳۹۰- تأثیر فعالیت پهنه گسلی عرضی ایده بر دگرریختی‌های پوشش رسوبی در زاگرس چین‌خورده- رانده، فصلنامه علوم زمین، سازمان زمین‌شناسی کشور، ۸۰، ص. ۷۱ تا ۸۸.
- عبابافی، ر. و پیروزی، ص.، ۱۳۸۹- گزارش مطالعه و مدل سازی شکستگی‌های مخزن آسماری- بنگستان میدان رنگ سفید با استفاده از نرم افزار FracFlow. شرکت ملی مناطق نفتخیز جنوب، اهواز، ۲۱۵ ص.

**References**

- Abdollahi Fard, I., Braathen, A., Mokhtari, M. and Alavi, S. A., 2006- Interaction of the Zagros Fold thrust belt and the Arabian type, deep-seated folds in the Abadan Plain and the Dezful Embayment, SW Iran. *Petroleum Geoscience*, V. 12, pp. 347–362.
- Ahmadhadi, F., Daniel, J. and Lacombe, O., 2008- Evidence for pre-folding vein development in the Oligo-Miocene Asmari Formation in the Central Zagros Fold Belt, Iran. *Tectonics*, V. 27 (TC1016), pp. 1-22.
- Aubourg, C., Smith, B., Bakhtari, H., Guya, A., Lallemand, S., Molinaro, M., Braud, X. and Delauney, S., 2004- Post-Miocene shortening pictured by magnetic fabric across the Zagros-Makran syntaxis. In: Sussman, A.B. (Ed.), *Orogenic Curvature: Integrating Palaeomagnetic and Structural Analyses*. Geological Society of America, Special Papers, V. 383, pp. 17–40.
- Awdal, A., Braathen, A., Wennberg, O. and Sherwani, G., 2013- The characteristics of fracture networks in the Shiranish Formation of the Bina Bawi Anticline; comparison with the taq taq Field, Zagros, Kurdistan, NE Iraq. *Petroleum Geoscience*, V. 19, pp. 139-155.
- Bahroudi, A. and Talbot, C. J., 2003- The configuration of the basement beneath the Zagros basin. *Journal of Petroleum Geology*, V. 26(3), pp. 257-282.
- Bellahsen, N., Fiore, P. and Pollard, D. D., 2006- The role of fractures in the structural interpretation of Sheep Mountain Anticline, Wyoming. *Journal of Structural Geology*, V. 28, pp. 850-867.
- Carminati, E., Aldega, L., Trippetta, F., Shaban, F., Narimani, H. and Sherkati, S., 2014- Control of folding and faulting on fracturing in the Zagros (Iran): The Kuh-e-Sarbalesh anticline. *Journal of Asian Earth Sciences*, V. 79, pp. 400-414.
- Casini, G., Gillespie, P., Vergés, J., Romaine, I., Fernández, N. and Casciello, E., 2011- Sub-seismic fractures in foreland fold and thrust belts: insight from the Lurestan Province, Zagros Mountains, Iran. *Petroleum Geoscience*, V. 17 (3), pp. 263-282.
- Cosgrove, J. W. and Ameen, M. S., 2000- A comparison of the geometry, spatial organization and fracture patterns associated with forced folds and buckle folds. Geological Society, London, Special Publications, V. 169, pp. 7–21.
- Eengelder, T. and Peacock, D. C., 2001- Joint development normal to regional compression during flexural-flow folding; the Lilstock buttress anticline. *Journal of Structural Geology*, V. 23, pp. 259-277.
- Florez-Nino, J. M., Aydin, A., Mavko, G., Antonellini, M. and Ayaviri, A., 2005- Fault and fracture systems in a fold and thrust belt: An example from Bolivia. *AAPG Bulletin*, V. 89(4), pp. 471-493.
- Gholipour, A. M., 1998- Patterns and structural positions of productive fractures in the Asmari Reservoirs, Southwest Iran. *Journal of Canadian Petroleum Technology*, V. 37, pp. 44–50.
- Gudmundsson, A., 2011- *Rock Fractures in Geological Processes*. Cambridge University Press, Cambridge, 592 p.
- Gutmanis, J. and Ardevoli O, L., 2010- Application of Pyrenean Fractured Carbonate Outcrops for Subsurface Reservoir Characterisation. 72nd, EAGE Conference and Exhibition incorporating SPE EUROPEC, pp. 1-5.
- Humair, F., Pedrazzini, A., Epard, J., Froese, C. and Jaboyedoff, M., 2013- Structural characterization of Turtle Mountain anticline (Alberta, Canada) and impact on rock slope failure. *Tectonophysics*, V. 605, pp.133-148.
- Inigo, J., Laubach, S. and Hooker, J., 2012- Fracture abundance and patterns in the Subandean fold and thrust belt, Devonian Huamapampa Formation petroleum reservoirs and outcrops, Argentina and Bolivia. *Marine and Petroleum Geology*, V. 35, pp. 201-218.
- Lacombe, O., Bellahsen, N. and Mouthereau, F., 2011- Fracture patterns in the Zagros Simply Folded Belt (Fars, Iran): constraints on early collisional tectonic history and role of basement faults. *Geological Magazine*, V. 148, pp. 940–963.
- McQuillan, H., 1974- Fracture Patterns on Kuh-e-Asmari Anticline, Southwest Iran. *AAPG Bulletin*, V. 58, pp. 236-246.
- Reif, D. D., Grasemann, B. and Peresson, H., 2012- Fracture patterns in the Zagros fold-and-thrust belt, Kurdistan Region of Iraq. *Tectonophysics*, V. 576–577, pp. 46-62.
- Richard, P., Mocquet, B. and Cobbold, P. R., 1991- Experiments on simultaneous faulting and folding above a basement wrench fault. *Tectonophysics*, V. 188(1-2), pp. 133-141.

- Sattarzadeh, Y., Cosgrove, J. W. and Vita- Finzi, C., 2000- The interplay of faulting and folding during the evolution of the Zagros deformation belt. Geological Society of London, V. 169, pp. 187-196.
- Sepehr, M. and Cosgrove, J. W., 2004- Structural framework of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran: Marine and Petroleum Geology, V. 21, PP. 829-43.
- Smith, B., Aubourg, C., Guézou, J.C., Nazari, H., Molinaro, M., Braud, X. and Guya, N., 2005- Kinematics of a sigmoidal fold and vertical axis rotation in the east of the Zagros–Makran syntaxis (Southern Iran): palaeomagnetic, magnetic fabric and microtectonic approaches. Tectonophysics, V. 411, pp. 89–109.
- Stearns, D. W., 1968- Certain aspects of fracture in naturally deformed rocks. In Riecker, R. E., ed., NSF advanced science seminar in rock mechanics, Bedford, pp. 97-116.
- Stephenson, B., Koopman, A., Hillgartner, H., McQuillan, H., Bourne, S. and Noad, J., 2007- Structural and stratigraphic controls on fold-related fracturing in the Zagros Mountains, Fractured reservoirs. Geological Society, London Special Publications, V. 270, pp. 1-21.
- Tavani, S., Storti, F., Soleimany, B., Fallah, M., Munoz, J. A. and Gambini, R., 2011- Geometry, kinematics and fracture pattern of the Bangestan Anticline, Zagros, SW Iran. Geological Magazine, V. 148, pp. 964–979.
- Wennberg, O., Svana, T., Azizzadeh, M., Aqrabi, A., Brockbank, P. and Lyslo, K., 2006- Fracture intensity vs. mechanical stratigraphy in platform topcarbonates: the Aquitanian of the Asmari Formation, Khaviz Anticline, Zagros, SW Iran. Petroleum Geoscience, V. 12, pp. 235-245.
- Zoback, M., 2007- Reservoir Geomechanics. New York: Cambridge University Press, 449 p.

## Analysis of fault trends interaction on the Asmari reservoir fractures development in the in the Rag sefid anticline by using image logs

M. Yousefi<sup>1\*</sup>, S. M. Moussavi<sup>2</sup>, M. M. Khatib<sup>3</sup> and M. Yazdani<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Ph.D. Student, Department of Geology, Faculty of Science, University of Birjand, Birjand, Iran

<sup>2</sup>Assistant Professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Birjand, Birjand, Iran

<sup>3</sup>Professor, Department of Geology, Faculty of Science, University of Birjand, Birjand, Iran

<sup>4</sup>M.Sc., National Iranian South Oil Fields Company, Ahwaz, Iran

Received: 2017 June 25

Accepted: 2017 November 04

### Abstract

Image logs of 14 wells in the Rag sefid anticline are showing 6 main fracture sets trending N45, EW, N35, N100, N150 and N162 respectively. Development of fractures in the eastern part of the Rag sefid anticline, especially in the frontal edge, are in effect of the propagation fault related folding so that the most open longitudinal and cross axial fractures show N100 and N10 trends. Due to fold axis rotation 30 degrees to the north in the western part of the anticline, the orientation of the fractures have changed and major fractures are longitudinal type and have N160 trend. In the middle and curved part of anticline, the NE-SW trend fracture sets are more developed by reactivation of Hendijan basement fault. Convergence of stress axes as a result of the fault interaction of the Rag sefid thrust dipping to the north east and dextral shears due to reactivation of Hendijan and southern part of Izef basement faults, caused the restraining bend and dextral shear zone in the western part of the Rag sefid anticline. Creation of this shear zone caused clockwise rotation of anticline axis, rising more in northern west culmination on Asmari top formation than southern east culmination, change in fractures orientation and also development and increase the density of fractures in the curved part of the Rag sefid anticline.

**Keywords:** Rag sefid Anticline, Image logs, Fracture, Fault interaction, Fault zone

For Persian Version see 119 to 128

\*Corresponding author: M. Yousefi; E-mail: [geomehdisa31@yahoo.com](mailto:geomehdisa31@yahoo.com)