

تحلیل شکستگی‌های ساختارهای مخزنی مؤثر بر ناپایداری چاه‌های اکتشافی - توسعه‌ای نفت در فروبار

دزفول، زاگرس چین خورده

یعقوب جلیلی

گروه زمین‌شناسی دانشگاه بیرجند

محمد مهدی خطیب

گروه زمین‌شناسی دانشگاه بیرجند

علی یساقی

گروه زمین‌شناسی دانشگاه تربیت مدرس

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱/۴

تاریخ دریافت: ۹۳/۹/۱۰

jalili.yaghoub@yahoo.com

چکیده

در این مطالعه اثر شکستگی‌ها بر تاقدیس‌ها که از مهم‌ترین عوامل ناپایداری چاه‌های مخازن هیدروکربوری در سازند آسماری واقع در فروبار دزفول زاگرس چین خورده، بررسی گردیده است. به این منظور شکستگی‌های همراه با تاقدیس‌های کوه آسماری بدون شاهدی از گسل خوردگی (نوع اول)، کوه سولک متأثر از راندگی در یال پیشانی (نوع دوم) و کوه کمربند در مجاورت با گسل عرضی ایزه (نوع سوم) مطالعه شده‌اند. پارامترهای موقعیت، فراوانی، فاصله‌داری، شدت، تراکم و طول شکستگی‌ها، طی مطالعات میدانی و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای بررسی شدند. مقایسه پارامترها در نواحی مختلف تاقدیس‌ها نشان داد که تمرکز شکستگی‌ها در نقاط مختلف آنها متفاوت است. همچنین نتایج مطالعه نشان داد، نواحی لولایی در تاقدیس نوع اول، پهلوی پیشانی بریده شده توسط گسل طولی در تاقدیس نوع دوم و دماغه جنوب شرقی متأثر از گسل عرضی در تاقدیس نوع سوم، دارای بیشترین شدت - تراکم شکستگی هستند. بنابراین با توجه به رابطه مستقیم بین تمرکز شکستگی‌ها با میزان هرزروی سیال حفاری و دیگر مشکلات حفاری مانند ریزش دیواره چاه، احتمال ناپایداری چاه‌های حفاری در این مناطق بیشتر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شکستگی؛ تاقدیس؛ گسل؛ ناپایداری چاه؛ زاگرس

مقدمه

می‌دهند و می‌توانند به راحتی باعث افزایش قطر دهانه چاه و ریزش دیواره آن شوند (Pierdominici et al., 2011). مطالعه شکستگی‌ها در زاگرس در سه بخش مطالعات هندسی (McQuillan, 1973, 1974; Gholipour, 1998; Wennberg et al., 2006, 2007; Carminati et al., 2013)، جنبشی (Ahmadhadi et al., 2008; Tavani et al., 2011; Carminati et al., 2014; Casini et al., 2011; Lacombe et al., 2011; Mobasher and Babaie, 2008; Reif et al., 2012; Stephenson et al., 2007) و دینامیکی (Rajabi et al., 2010; Haghi et al., 2013) که عمدتاً به جهت افزایش بهره‌وری شکستگی‌ها است، صورت گرفته است. Haghi et al., 2013 با استفاده از لاگ‌های FMI سازند دالان در دو چاه در خلیج فارس تأثیر شکستگی‌های همزمان با چین‌خوردگی و شکستگی‌های بعد از آن را بر روی ناپایداری و کارایی چاه بررسی کرده‌اند و ایشان ابراز داشته‌اند که شکستگی‌های بعد از چین‌خوردگی مسبب ناپایداری چاه‌ها می‌باشند. این مطالعات نشان می‌دهد که شکستگی‌های ساختارهای مخزنی بخش چین‌خورده کمربند چین - رانده زاگرس که در خلال چین‌خوردگی این ساختارها و یا پس از چین‌خوردگی و ناشی از اثر گسل‌های همراه آنها توسعه یافته‌اند، بر ناپایداری چاه‌های توسعه‌ای و اکتشافی مؤثر می‌باشد.

در این مقاله با انتخاب سازند آسماری بعنوان سنگ مخزن میادین نفتی فروبار دزفول که رخنمون‌های آن شرایط بسیار مناسبی را جهت مطالعات سطحی شکستگی‌ها فراهم آورده‌اند، الگوی توزیع شکستگی‌های آن در سه ساختار تاقدیسی یعنی تاقدیس کوه آسماری بدون شواهدی از اثر

در مخازن کربناتی شکسته شده کمربندهای چین - رانده، شناخت پارامترهای کنترل‌کننده الگوی توزیع شکستگی‌ها همچون موقعیت هندسی، فراوانی، فاصله‌داری، طول، توزیع مکانی، تراکم و شدت برای کاهش هزینه‌های حفاری و افزایش بهره‌وری مخازن ضروری است. سه عامل (۱) هندسه و مکانیسم چین‌خوردگی (Stearns, 1968; Cosgrove and Ameen, 2000; Engelder and Peacock, 2001; Iñigo et al., 2012; Wennberg et al., 2006)، و (۲) ویژگی‌های مکانیکی و آنیزوتروپی سنگ (Wennberg et al., 2006)، و (۳) نزدیکی به گسل (e.g. Florez, 2006; Nelson, 2005) به عنوان کنترل‌کننده‌های الگوی توزیع شکستگی‌ها شناخته شده‌اند (Gutmanis and Oro, 2010). شکستگی‌ها از یک نقطه نظر باعث بهره‌روی (Nelson, 2001; Wennberg et al., 2006, 2007) و از سوی دیگر باعث ناپایداری چاه‌ها و مخازن می‌شوند (e.g. Brudy and Zoback, 1999; Barton and Zoback, 2002; Haghi et al., 2013). در فروبار دزفول واقع در کمربند چین - رانده زاگرس، حفاری‌های زیادی جهت دستیابی به مخازن هیدروکربوری در سازند آسماری و در میادین مارون، کوپال و آغاچاری صورت گرفته و در این حفاری‌ها، مشکلاتی جدی ناپایداری چاه‌ها مانند هرزروی بسیار زیاد گل حفاری، تغییر اندازه دهانه چاه و ریزش دیواره چاه (حبیب نیا و دیناروند، ۱۳۹۳) رخ داده است.

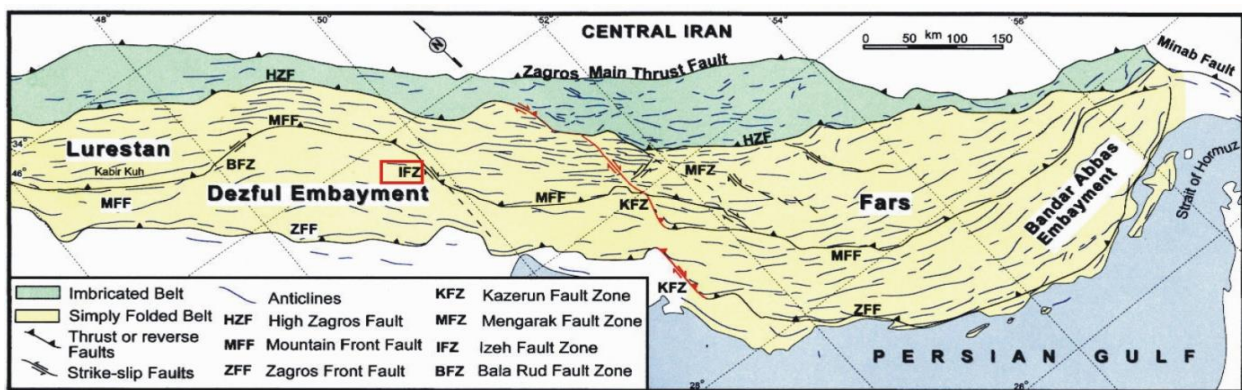
در زمان حفاری یک ناحیه با تراکم شکستگی بالا، تنش تمرکز یافته شکستگی‌های طبیعی را که بطور فیزیکی ضعیف‌تر هستند تحت تأثیر قرار

زاگرس از شمال شرق بسمت جنوب غرب توسط سامانه گسلی با روند عمومی شمال غربی - جنوب شرقی به زیر بخش‌هایی تقسیم می‌شود (شکل ۱). این سامانه گسلی شامل گسل اصلی معکوس زاگرس و گسل اصلی جوان، جایی که راندگی‌ها و حرکات امتداد لغز راستگرد با هم عمل می‌نمایند (Dercourt et al., 1986; Blanc et al., 2003; McQuarrie, 2004). گسل زاگرس مرتفع و کمربند چین خوردگی زاگرس که از چین‌هایی با روند شرقی - غربی و شمال غربی - جنوب شرقی تشکیل شده است (Tavani et al., 2011). خطواره‌های با روند شمالی - جنوبی کمربند را به حوضه‌های متفاوت تقسیم می‌نمایند و رخنمون‌ها و شواهد سطحی نشان دهنده فعالیت مجدد جنبش امتداد لغز راستگرد در طی برخورد ورق‌های عربی - اوراسیا می‌باشد (Talbot and Alavi, 1996; Hessami et al., 2001; Yassaghi, 2006) (شکل ۱).

گسل خوردگی، تاقدیس کمرآب متأثر از گسل عرضی ایزه با روند شمالی - جنوبی و تاقدیس کوه سولک با شواهد اثر گسلش راندگی در یال پیشانی آن بررسی شده است (شکل‌های ۱ و ۲). این مطالعه از شکستگی‌ها عمدتاً متکی بر برداشت‌های میدانی و تفسیر تصاویر ماهواره‌ای آنها است.

زمین‌شناسی ناحیه‌ای

دگرشکلی فعال کمربند چین - رانده زاگرس با روند شمال غربی - جنوب شرقی در نتیجه برخورد ورق‌های عربی - اوراسیا (Alavi, 1994; Berberian, 1995; McQuarrie, 2004) یک منطقه فعال زمین‌ساختی (Jackson and McKenzie, 1984) و یک نمونه عالی برای توزیع (Partitioning) استرین فشارشی است (Talebian and Jackson, 2002; Blanc et al., 2003) جایی که همگرایی شمالی - جنوبی این ورق‌ها به شکل راندگی و جنبش راستالغز ظاهر شده است (e.g. Berberian, 1995). کمربند چین - رانده



شکل ۱. نقشه ساختاری کمربند چین - رانده زاگرس (Berberian, 1995, Sepehr 2001). چهار گوش محدوده مورد مطالعه

2000 چین‌های زاگرس را به سه نوع (۱) خمشی، (۲) فشارشی و (۳) چین-های خمشی و فشاری مرتبط با گسل‌های پی‌سنگی امتداد لغز معرفی نمود. بطور کلی در زاگرس چین خوردگی با توجه به موقعیت چین خوردگی‌ها نسبت به گسل‌های طولی با روند شمال غربی - جنوب شرقی و گسل‌های عرضی با روند شمالی - جنوبی، سه نوع چین خوردگی را می‌توان تفکیک کرد (Sattarzadeh et al., 2000; Sherkati et al., 2006; Berberian, 1995). نوع اول: چین خوردگی بدون اثر گسل و با درجه نامتقارنی کم (اختلاف شیب یال‌ها کمتر از ۱۰ درجه) که تاقدیس کوه آسماری نمونه انتخابی آن در این مقاله است. نوع دوم: چین خوردگی با اثر گسلش‌های طولی راندگی با روند شمال غربی - جنوب شرقی در یال‌های آنها که چنین تاقدیس‌هایی عمدتاً از نوع انتشار گسلی یا خم گسلی است که تاقدیس کوه سولک نمونه انتخابی آن در این مقاله است و نوع سوم: چین خوردگی متأثر از گسل‌های عرضی امتداد لغز با راستای شمالی - جنوبی که تاقدیس کوه کمرآب نمونه انتخابی آنها در این مقاله است (شکل‌های ۲- الف و ۳).

تاقدیس کوه آسماری (تاقدیس نوع اول)

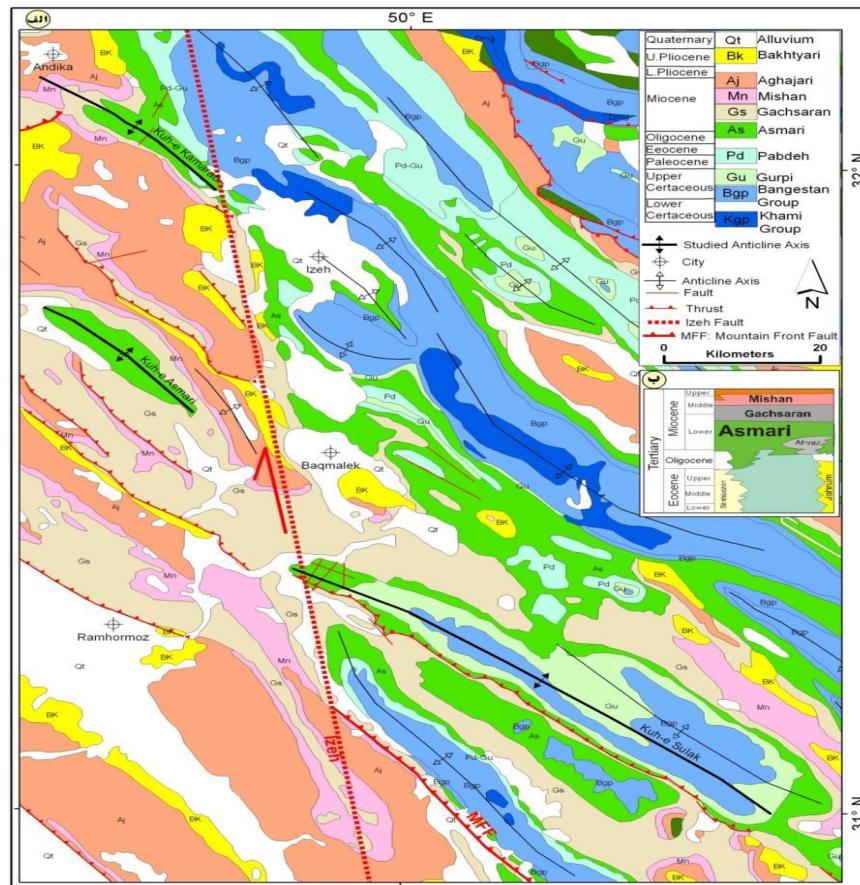
تاقدیس کوه آسماری در شمال شرق فروبار دزفول و غرب زون ایزه قرار دارد (شکل ۲ - الف). این چین بدون شواهد گسلش در سازند آسماری و درجه نامتقارنی کم که تمایل آن به سمت جنوب غرب می‌باشد. پارامترهای هندسی این تاقدیس در جدول (۱) ارائه شده است.

چینه‌نگاری سنگی

برش نمونه آهک آسماری که شکستگی‌های توسعه یافته بر روی آن مورد مطالعه این مقاله است، اولین بار توسط Richardson and Thomas (۱۳۷۲). ضخامت این سازند در برش نمونه ۳۱۴ متر و عمدتاً شامل آهک‌های مقاوم، کرم و قهوه‌ای رنگ و با میان لایه‌های شیلی نازک می‌باشد (شکل ۲ - ب). سن این سازند الیگو - میوسن بوده (شکل ۲ - ب) و دارای دو بخش ماسه سنگی اهواز که در نواحی جنوبی فروبار دزفول دیده می‌شود و بخش تبخیری کلهر که در شمال باختری فروبار دزفول و جنوب باختری لرستان وجود دارد (مطیعی، ۱۳۷۲). رخنمون تاقدیس کوه آسماری که یکی از تاقدیس‌های مورد مطالعه این مقاله است، برش نمونه سازند آسماری می‌باشد. سطح تاقدیس کوه کمرآب که دیگر تاقدیس مورد مطالعه نیز عمدتاً رخنمون‌های سازند آسماری است. سازند آسماری در تاقدیس کوه سولک که سومین تاقدیس مورد مطالعه است در یال‌ها و دماغه شمال غربی آن رخنمون یافته است (شکل ۲).

هندسه و مکانیسم تاقدیس‌های مورد مطالعه

در مطالعه چین خوردگی‌های فروبار دزفول مشخص گردید که طیف وسیعی از سبک چین خوردگی مانند چین‌های جدایشی، انتشار و خم گسلی وجود دارد (Abdollahie Fard et al., 2006). Sattarzadeh et al.,



شکل ۲. الف) نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه؛ اثر محوری تاقدیس‌های کوه آسماری، کوه کمرآب و کوه سولک مورد مطالعه در این مقاله با رنگ تیره ضخیم مشخص شده است. ب) سازند آسماری در سکنس چین‌نگاری زاگرس (مطبعی ۱۳۷۲).

تاقدیس کوه سولک (تاقدیس نوع دوم)

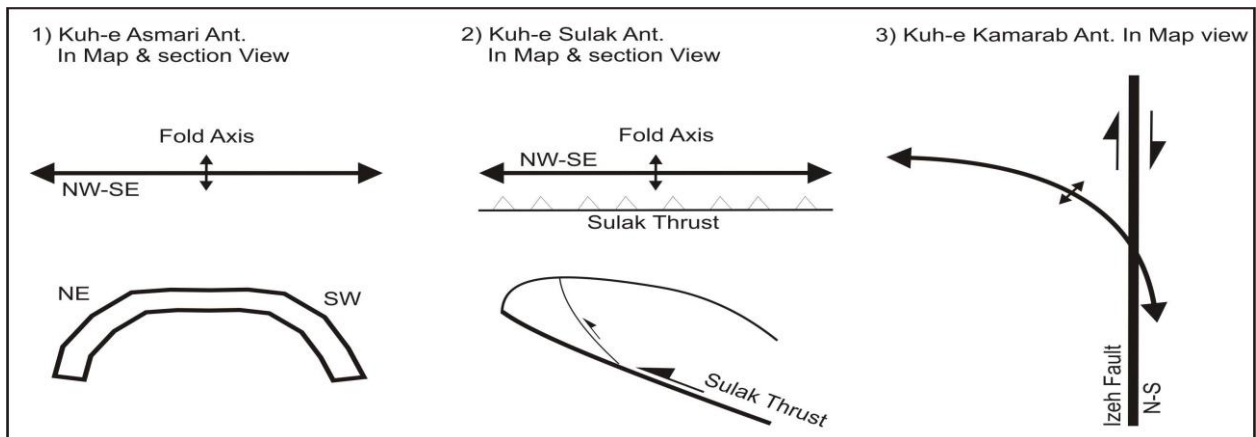
تاقدیس کوه سولک در شرق فروبار دزفول واقع است (شکل ۲ - الف). این چین نامتقارن است بگونه‌ای که یال پیشانی آن با شیب 55-70SW توسط راندگی بریده شده است (شکل‌های ۲، ۳، ۴ و ۵: ت و جدول ۱). در هسته تاقدیس سازندهای ایلام - سروک رخنمون یافته و در یال‌ها سازندهای پابده - گورپی و آسماری رخنمون دارند (شکل‌های ۲ و ۳). بر اساس مقدار Aspect Ratio، این چین در طبقه‌بندی چین‌های فشارشی قرار می‌گیرد (جدول ۱). پارامترهای هندسی این تاقدیس در جدول (۱) ارائه شده است.

تاقدیس کوه کمرآب (تاقدیس نوع سوم)

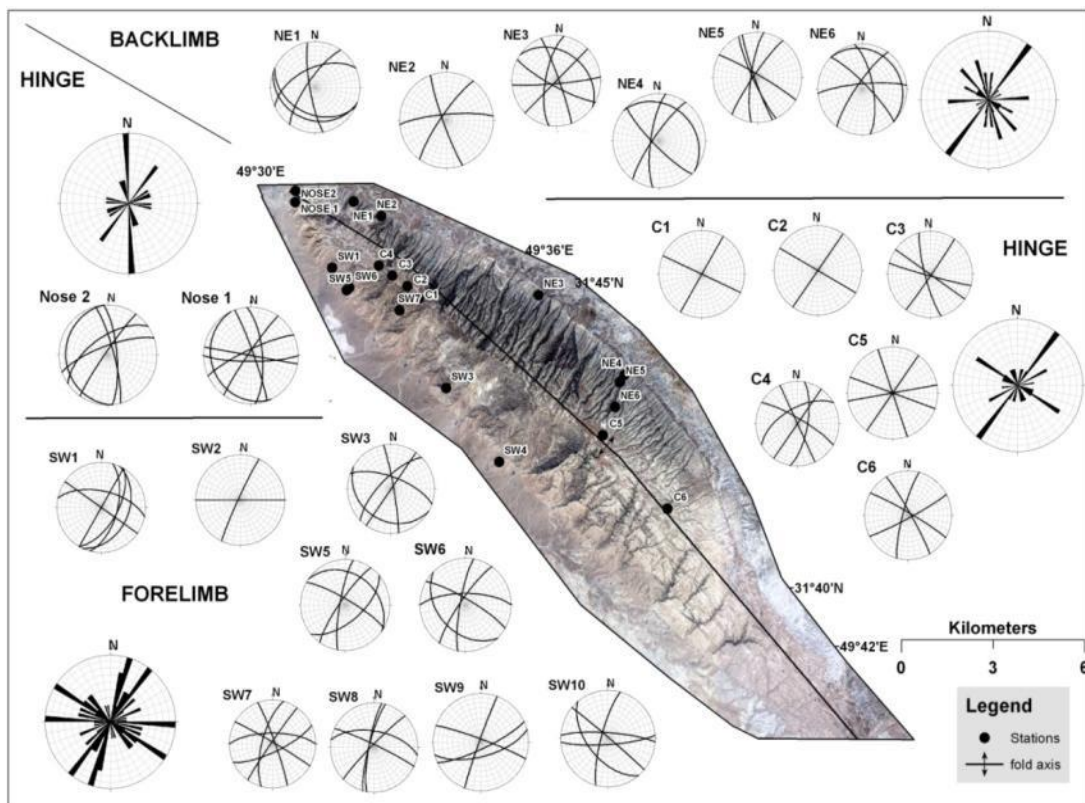
تاقدیس کوه کمرآب در شمال شرق فروبار دزفول و در مجاورت گسل عرضی ایزه قرار دارد (شکل ۲ - الف). دماغه جنوب شرقی این چین متأثر از گسل ایزه متحمل چرخش بصورت ساعتگرد شده است (شکل ۲)، بگونه‌ای که روند اثر محوری در نزدیکی سد شهید عباسپور N120 و در دماغه جنوب شرقی تحت تأثیر گسل راستگرد ایزه به N150 تغییر می‌یابد (شکل‌های ۲ و ۳ و جدول ۱). پارامترهای هندسی این تاقدیس در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. پارامترهای هندسی تاقدیس‌های مورد مطالعه

نام تاقدیس	شیب یال شمالی	شیب یال جنوبی	موقعیت محور	Aspect Ratio	مکانیسم چین (Sattarzadeh et al., 2000)
کوه آسماری	۲۵ - ۳۵	۳۰ - ۴۰	۱۲۶, ۰۳	۱:۹	چین خمشی (Buckle fold)
کوه سولک	۱۵ - ۳۰	۵۵ - ۷۰	۱۳۰, ۰۵	۱:۱۵	چین فشارشی (Forced fold)
کوه کمرآب	۳۰ - ۳۵	۳۰ - ۴۰	۰۸ ۱۲۰-۱۵۰,	۱:۹	چین خمشی (Buckle fold)



شکل ۳. سه نوع چین خوردگی در بخش مرکزی زاگرس چین خورده که برای مطالعه شکستگی‌ها انتخاب شده‌اند. ۱: نوع اول: چین خوردگی بدون شواهد گسل (تاقدیس کوه آسماری). ۲: نوع دوم: چین خوردگی متأثر از گسل طولی در یال پیشانی (تاقدیس کوه سولک). ۳: نوع سوم: چین خوردگی متأثر از گسل عرضی با راستای N-S (تاقدیس کوه کمراب).

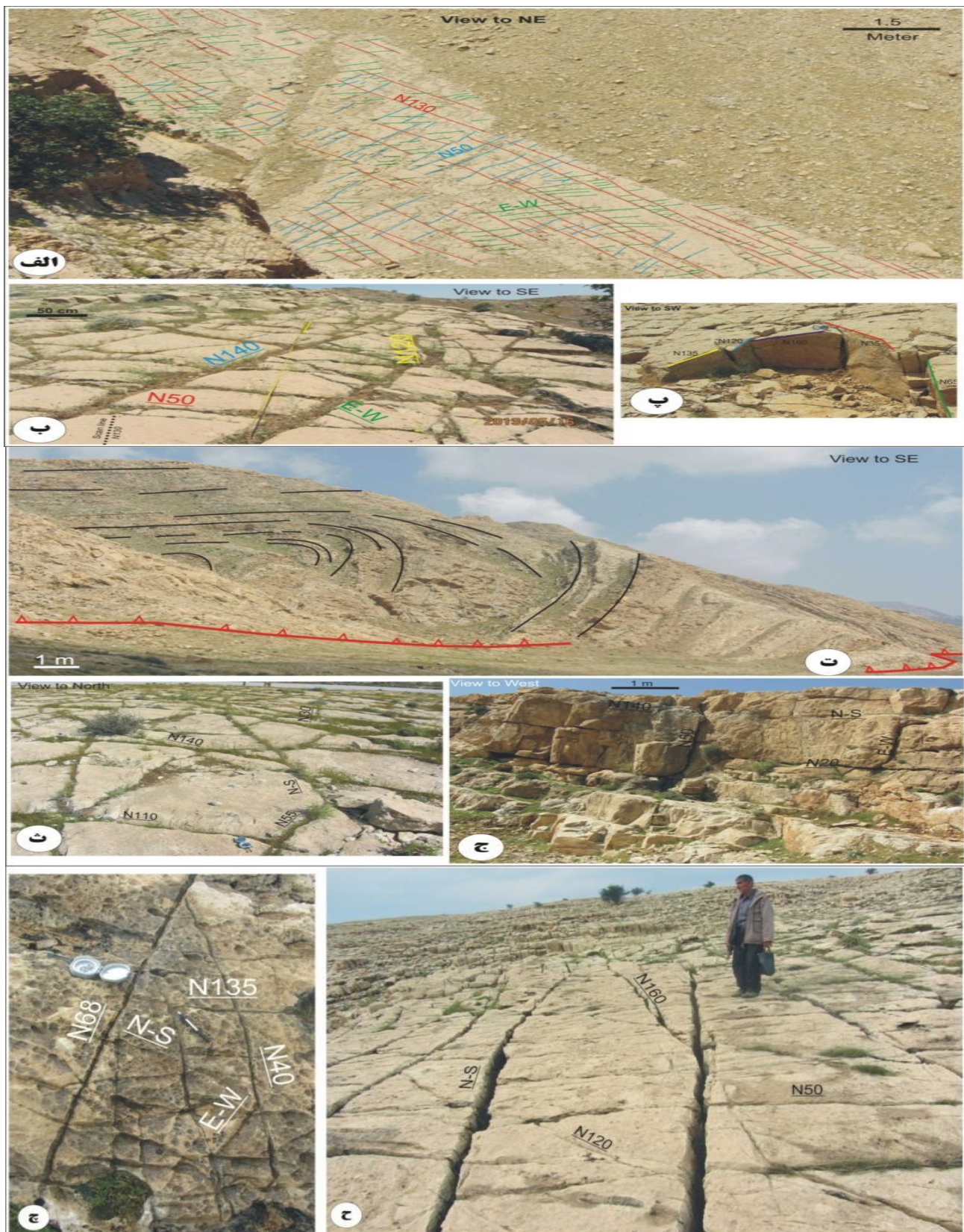


شکل ۴: ایستگاه‌های برداشت، استریوگرام شکستگی‌های برداشت شده بر روی زمین و نمودارهای امتدادی شکستگی‌های به نقشه کشیده از تصاویر ماهواره‌ای از بخش‌های مختلف تاقدیس کوه آسماری. وضعیت امتداد و شیب دسته شکستگی‌ها با استفاده از استریوگرام بر روی تصویر ماهواره‌ای در ایستگاه‌های مختلف نشان داده شده است.

روش مطالعه

مطالعه شکستگی‌ها در این مقاله بر روی داده‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای رخنمون‌های سازند آسماری در تاقدیس‌های کوه آسماری، کمرآب و سولک صورت گرفته است. برداشت‌های میدانی از شکستگی‌ها در نواحی لولا، دماغه و یال‌های تاقدیس‌ها صورت گرفته و در این برداشت‌ها پارامترهایی از شکستگی‌ها مانند موقعیت، فاصله‌داری، بازشدگی، طول و فراوانی دسته‌ها در طول ۱۰ متر از خط برداشت عمود بر راستای غالب شکستگی‌ها در سطح و برش لایه‌بندی‌ها اندازه‌گیری گردیده است. شیب و امتداد دسته شکستگی‌ها بر روی شبکه استریونت هم مساحت نیم کره پایینی اشمیت ترسیم گردیده و درصد فراوانی هر دسته شکستگی به تفکیک نواحی مختلف چین محاسبه شده است. فاصله‌داری دسته‌ها در لایه‌هایی با تغییرات ضخامت ۰/۷-۱ متر صورت گرفته و این فاصله‌داری در نواحی مختلف چین برای هر دسته محاسبه

و مقایسه گردیده است. علاوه بر داده‌های صحرائی از تصاویر ماهواره‌ای Google Earth V.7.1 با مقیاس ۱/۶،۰۰۰ تا ۱/۱۰،۰۰۰ برای به نقشه کشیدن بیش از ده هزار شکستگی در تاقدیس‌های مورد مطالعه، استفاده شده است. در ادامه با استفاده از نرم‌افزار FraNEP-V.1.442 (Zeeb et al., 2013) تراکم، شدت و میانگین طول دسته شکستگی‌های به نقشه کشیده از روی تصاویر ماهواره‌ای در نواحی یال‌ها و لولای تاقدیس‌ها برآورد شده است. بر اساس تعاریف Rohrbaugh et al., (2002) تراکم شکستگی برابر با مجموع تعداد شکستگی در واحد سطح ($P = \frac{N}{A}$) و شدت شکستگی برابر با مجموع طول شکستگی‌ها در واحد سطح ($I = \frac{\sum L}{A}$) می‌باشد. پارامترهای شکستگی‌ها در یال‌ها و لولای هر تاقدیس با یکدیگر و سپس با تاقدیس‌های مورد مطالعه تحلیل گردیده است.



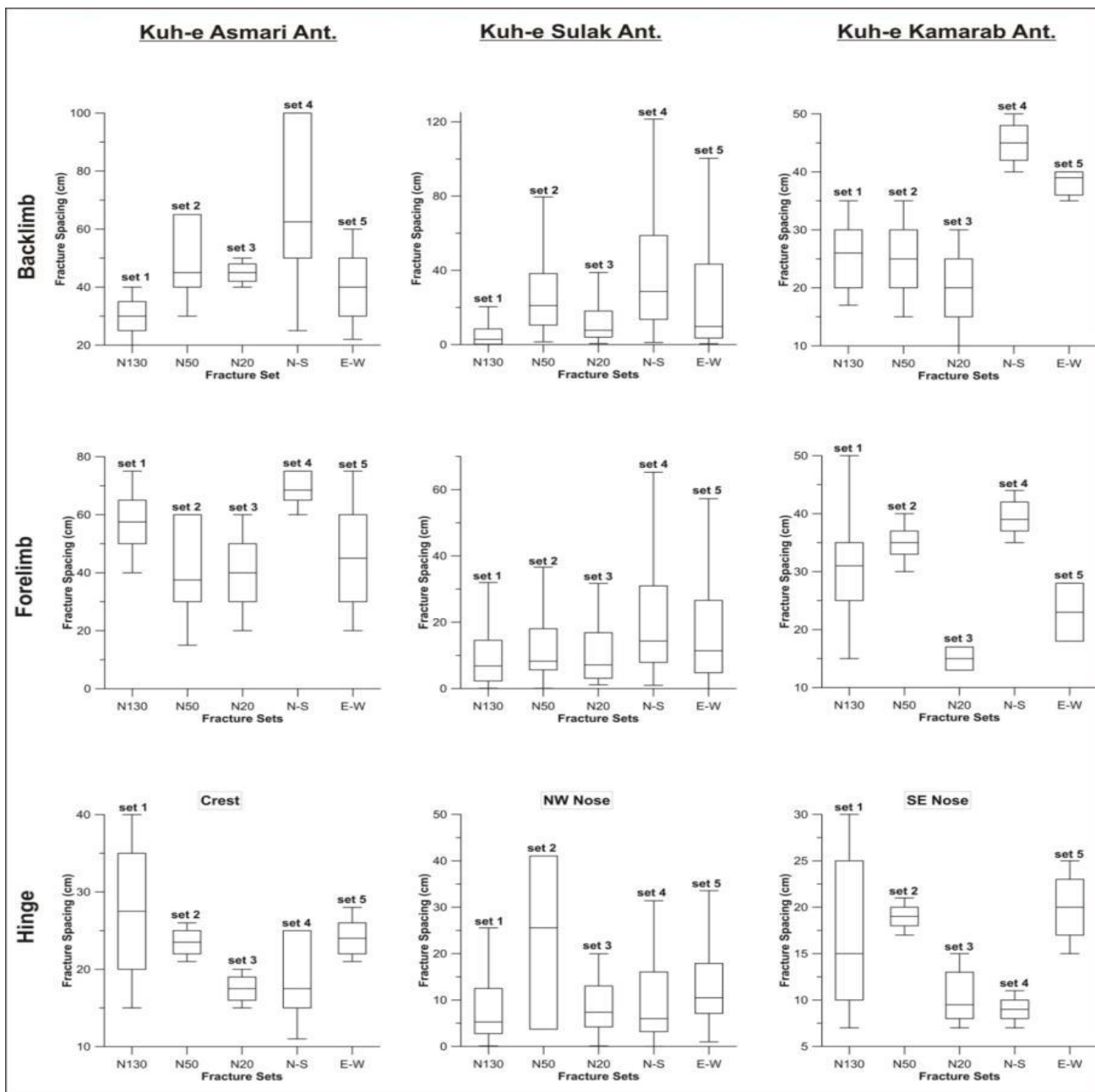
شکل ۵: دسته‌های شکستگی در تاقدیس کوه آسماری. الف) آرایش و فراوانی دسته‌های موازی و عمود بر محور چین همراه با دسته E-W در یال پیشانی. ب) میزان بازشدگی دسته‌ها در ناحیه لولایی. پ) پنج دسته شکستگی در یال پشتی تاقدیس. در تاقدیس کوه سولک: ت) راندگی با روند شمال غربی - جنوب شرقی در یال پیشانی تاقدیس کوه سولک. ث) دسته شکستگی‌ها در دماغه شمال غربی تاقدیس. به میزان بازشدگی بسیار زیاد دسته‌ها توجه شود. ج) نحوه آرایش و گسترش عمودی دسته شکستگی‌ها در رخنمون قائم در یال پشتی. دسته‌های N50 و N130 و N-S بیشترین گسترش عمودی را دارند. در تاقدیس کوه کمرآب: چ) دسته شکستگی‌ها در یال پیشانی. به فاصله‌داری، آرایش و میزان بازشدگی دسته‌ها توجه شود. ح) آرایش دسته‌ها در یال پیشانی. به میزان بازشدگی دسته‌های N50 و N-S توجه شود.

نتایج

تاق‌دیس کوه آسماری

در تاق‌دیس کوه آسماری ۲۴ ایستگاه میدانی اندازه‌گیری شکستگی در سازند آسماری بیش از ۵۰۰ شکستگی با طول کمتر از ۱۰ متر (شکل ۴) و بر روی تصاویر ماهواره‌ای حدود ۱۱,۰۰۰ شکستگی با طول ۱۰-۱۰۰ متر در نواحی یال‌های پستی و پیشانی، لولا و دماغه شمال غربی برداشت گردیده‌اند. وضعیت امتداد و شیب دسته شکستگی‌ها با استفاده از استریوگرام در ایستگاه-های مختلف و نمودار امتدادی حاصل از شکستگی‌های به نقشه کشیده از تصاویر ماهواره‌ای در تاق‌دیس کوه آسماری در شکل (۴) نشان داده شده است. (شکل ۴). شکستگی‌ها بر اساس موقعیت هندسی به پنج دسته تقسیم شدند: دسته اول: $N130 \pm 20$ ، دسته دوم: $N050 \pm 15$ ، دسته سوم: $N020 \pm 10$ ، دسته چهارم: $N000 \pm 10$ و دسته پنجم: $N090 \pm 10$. وضعیت شکستگی‌ها

نسبت به محور چین به این صورت می‌باشد: شکستگی‌های دسته اول به موازات محور (N121-135)، دسته دوم عمود و دسته‌های سوم، چهارم و پنجم مایل می‌باشند (شکل ۴). علاوه بر شکستگی‌های دسته اول و دوم در ناحیه لولایی تاق‌دیس، دسته شکستگی‌های سوم، چهارم و پنجم نیز در این ناحیه حضور دارند (شکل ۵: الف - ب - پ). مقایسه فاصله‌داری شکستگی‌ها در طول خط برداشت‌ها نشان می‌دهد که فاصله‌داری دسته شکستگی‌ها از یال‌ها به سمت نواحی لولایی کاهش ۴۰ تا ۶۰ سانتیمتری را نشان می‌دهد (شکل ۶). شکستگی‌های دسته اول و دوم بیشترین میزان گسترش عمودی را دارند. تراکم، شدت و میانگین طول دسته شکستگی‌های به نقشه کشیده از تصاویر ماهواره‌ای در نواحی یال‌ها و لولا محاسبه شد که این نتایج نیز نشان دهنده افزایش شدت و تراکم شکستگی‌ها و کاهش میانگین طول شکستگی‌ها در لولا می‌باشد (شکل ۷).

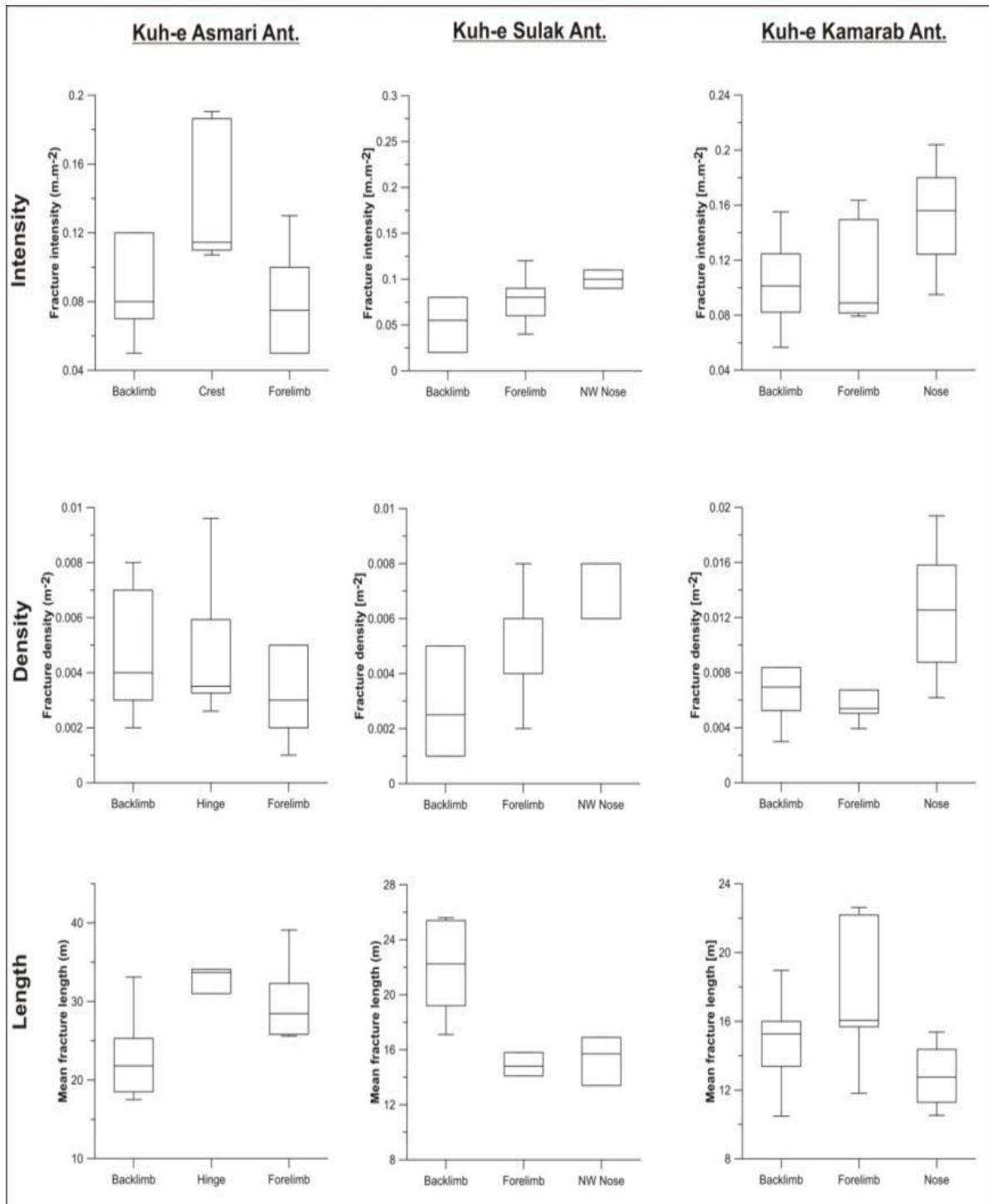


شکل ۶. فاصله‌داری دسته شکستگی‌ها حاصل از برداشت‌های میدانی به تفکیک موقعیت ساختاری در تاق‌دیس‌های مورد مطالعه

کوه سولک

۳۸۰ شکستگی حاصل از برداشت میدانی ۱۸ ایستگاه شکستگی (شکل ۸) و ۹،۴۰۰ شکستگی بر روی تصاویر ماهواره‌ای در تاقدیس کوه سولک می‌باشند. وضعیت امتداد و شیب دسته شکستگی‌ها با استفاده از استریوگرام در ایستگاه‌های مختلف و نمودار امتدادی حاصل از شکستگی‌های به نقشه کشیده از تصاویر ماهواره‌ای در تاقدیس کوه سولک در شکل (۸) نشان داده شده است (شکل ۸). موقعیت هندسی دسته شکستگی‌ها در تاقدیس سولک تقریباً مشابه تاقدیس آسماری شامل پنج دسته شکستگی می‌باشد (شکل‌های ۵: ث - ج و ۸). بازه فاصله‌داری پنج دسته شکستگی در طول خط‌های برداشت در یال

پیشانی حدود ۳-۶۵ سانتیمتر و در یال پشتی، ۵-۱۲۵ سانتیمتر می‌باشد (شکل ۶). کاهش کلی فاصله‌داری دسته شکستگی‌ها در یال پیشانی با تغییرات تراکم، شدت و طول دسته شکستگی‌ها همخوانی دارد (شکل‌های ۶ و ۷). شکستگی‌های دسته اول و دوم و چهارم در یال‌ها بیشترین میزان گسترش عمودی را دارند. تراکم، شدت و طول شکستگی‌های به نقشه کشیده شده از تصاویر ماهواره‌ای نیز محاسبه گردید. میزان تراکم و شدت شکستگی در یال پیشانی بیشتر از یال پشتی می‌باشد (شکل ۷). همچنین میانگین طول دسته شکستگی‌ها نیز در یال پیشانی کمتر از یال پشتی است (شکل ۷).

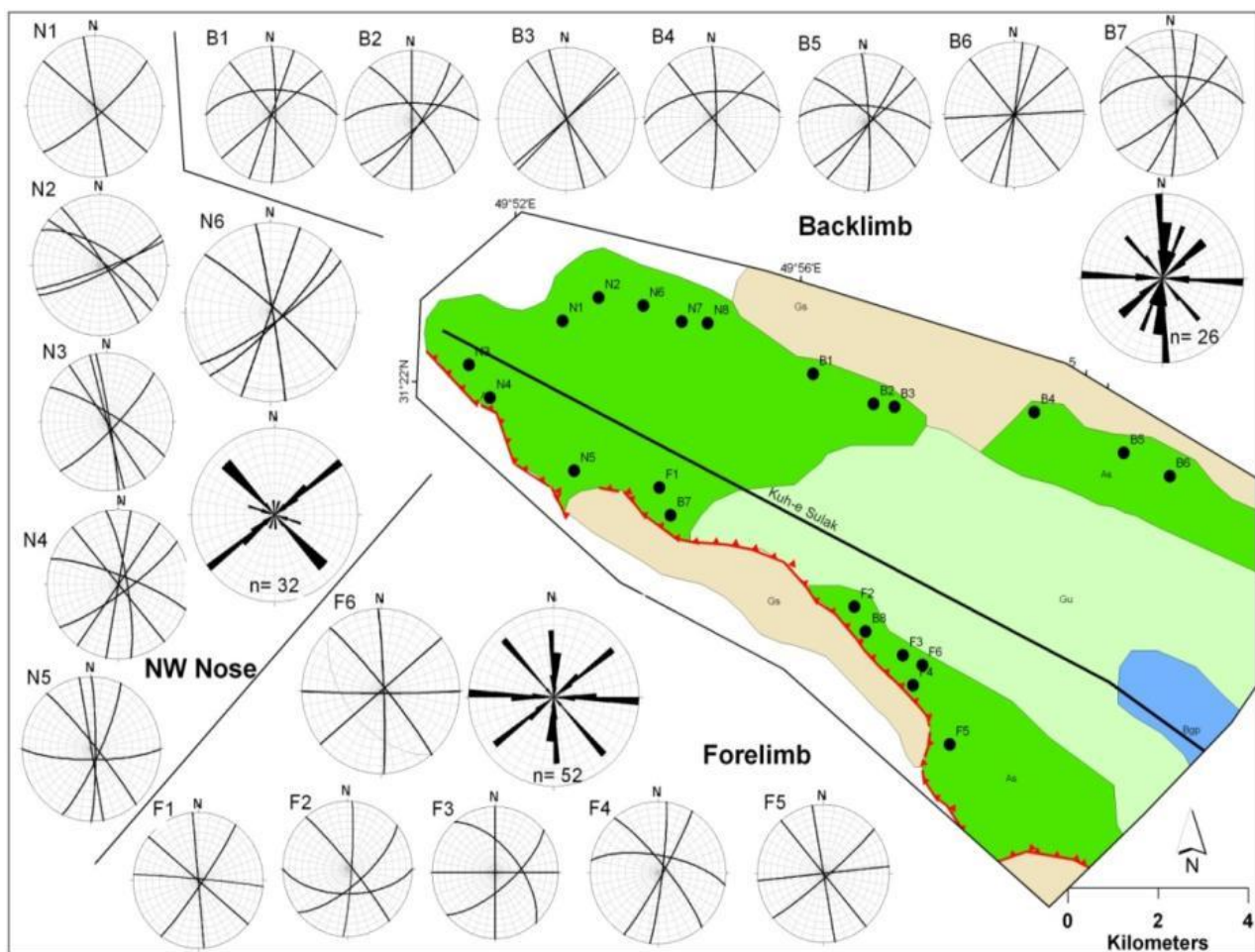


شکل ۷. شدت، تراکم و میانگین طول دسته شکستگی‌های به نقشه کشیده از روی تصاویر ماهواره‌ای به تفکیک مناطق مختلف تاقدیس‌های مورد مطالعه.

تاق‌دیس کوه کمرآب

حاصل ۲۴ ایستگاه میدانی اندازه‌گیری شکستگی بر روی تاق‌دیس کوه کمرآب، شناسایی ۲۴۵ شکستگی با طول ۱-۵ متر در سطح و در برشی از لایه‌بندی (شکل ۹) و ۹،۰۰۰ دسته شکستگی با طول ۱۰-۱۰۰ متر از روی تصاویر ماهواره‌ای در نواحی یال‌ها و دماغه جنوب شرقی می‌باشد. در تاق‌دیس کوه کمرآب ۵ دسته شکستگی قابل تفکیک بوده که امتداد آنها تقریباً مشابه دسته شکستگی‌های شناسایی شده در تاق‌دیس‌های کوه آسماری و سولک می‌باشد (شکل‌های ۵: چ - ح و ۹). این پنج دسته شکستگی در یال‌ها و لولایی چین مشاهده می‌شوند (شکل ۵: ح - چ). وضعیت امتداد و شیب دسته شکستگی‌ها با استفاده از استریوگرام در ایستگاه‌های مختلف و نمودار امتدادی حاصل از شکستگی‌های به نقشه کشیده از تصاویر ماهواره‌ای در تاق‌دیس کوه کمرآب در شکل ۹ نشان داده شده است (شکل ۹). نمودار امتدادی دسته شکستگی‌ها نشان می‌دهند که در دماغه جنوب شرقی شکستگی‌ها عمدتاً روند شمالی - جنوبی دارند (شکل ۹). دسته‌های موازی و عمود بر محور چین توزیع

تقریباً یکسانی در سراسر چین دارند (شکل ۵: چ - ح). دسته‌های چهارم و پنجم از یال‌ها به سمت دماغه جنوب شرقی درصد فراوانی بیشتری پیدا کرده‌اند (شکل ۹). در طول خط‌های برداشت، دسته شکستگی‌های سوم، چهارم و پنجم بیشترین میزان کاهش فاصله‌داری را در دماغه جنوب شرقی نشان می‌دهند (شکل ۶). فاصله‌داری دسته سوم در بازه ۵-۱۵ سانتی‌متر، کمترین میزان فاصله‌داری را در ناحیه لولایی دارد. همچنین مقایسه میزان فاصله‌داری کل دسته شکستگی‌های در طول خط برداشت نشان می‌دهد که کمترین میزان فاصله‌داری در دماغه جنوب شرقی تاق‌دیس می‌باشد. شکستگی‌های دسته چهارم و پنجم و به میزان کمتر دسته اول و دوم بیشترین میزان گسترش عمودی را دارند. شدت و تراکم دسته شکستگی‌های به نقشه کشیده از تصاویر ماهواره‌ای در دماغه جنوب شرقی بیشتر از یال‌ها می‌باشد. همچنین میانگین طول دسته شکستگی‌ها در دماغه جنوب شرقی کمتر از یال‌ها می‌باشد (شکل ۷).



شکل ۸. ایستگاه‌های برداشت، استریوگرام و نمودار امتدادی از موقعیت شکستگی‌ها از بخش‌های مختلف تاق‌دیس کوه سولک بر روی زمین. استریوگرام‌ها وضعیت امتداد و شیب شکستگی‌های میدانی را نشان می‌دهند و نمودارهای امتدادی مربوط به شکستگی‌های به نقشه کشیده از تصاویر ماهواره‌ای می‌باشند.

بحث

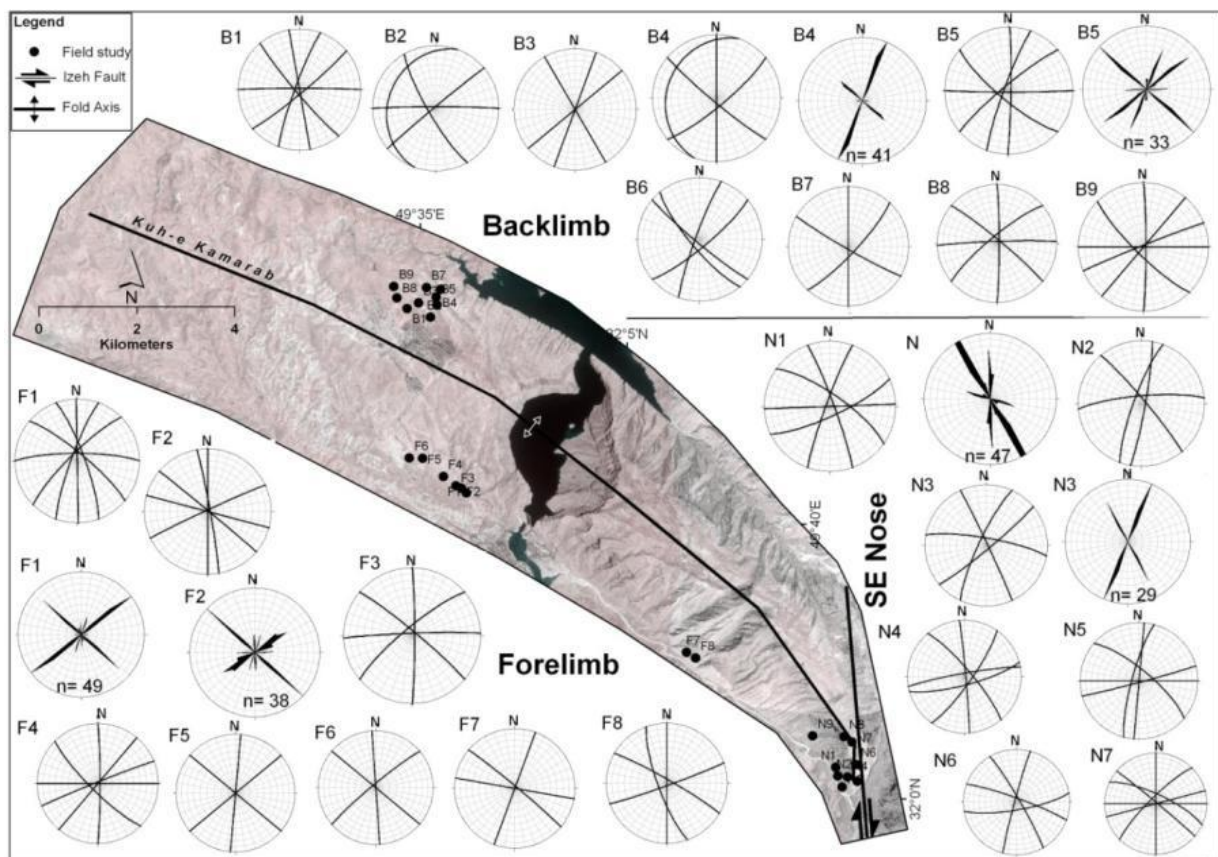
بررسی اطلاعات بدست آمده از هرزروی‌ها و ریزش‌ها در چاه‌های اکتشافی - توسعه‌ای میدان هیدروکربوری گچساران نشان می‌دهد که تراکم شکستگی‌ها بر توسعه این هرزروی‌ها و ریزش‌ها مؤثر بوده است (Gholipour, 1998). شکستگی‌ها در زاگرس در فرایند چین‌خوردگی و اثر گسل‌خوردگی‌های بعدی در واحدهای سنگی توسعه می‌یابند (Ahmadhadi et al., 2008; Ahmadhadi et al., 2008).

Casini et al, 2011; Tavani et al, 2011). دسته شکستگی‌ها در سازند آسماری با چین‌خوردگی خمشی ایجاد شده و سپس متأثر از اثر فعالیت گسل‌های طولی و عرضی قطع کننده این چین‌ها، دسته شکستگی‌های جدیدتر در آهک‌های سازند آسماری توسعه یافته است. (Ahmadhadi et al., 2008).

می‌گیرد. حال آنکه یال پیشانی با شیب بیشتر، شدت و تراکم شکستگی کمتری نسبت به یال پشتی دارد. شدت و تراکم شکستگی‌ها در یال‌های پیشانی و پشتی اختلاف زیادی ندارد. همچنین امتداد شکستگی‌ها و فراوانی آنها (شکل‌های ۴) با الگوی کلاسیک چین‌های دوپلانژه معرفی شده توسط Stearns., 1968 همخوانی دارد.

بر اساس شواهد بدست آمده از مطالعه شکستگی‌ها در تاق‌دیس‌های کوه سولک و کوه کمرآب (شکل‌های ۶، ۷، ۸ و ۹) نشان می‌دهد که الگوی توزیع شکستگی‌ها در این تاق‌دیس‌ها متأثر از اثر گسل‌های طولی و عرضی با انواع شکستگی‌ها در تاق‌دیس کوه آسماری (بدون شواهد گسل) متفاوت است. در ادامه تأثیر این گسل‌ها بر روی توزیع شکستگی‌ها بررسی خواهد گردید و نواحی با تمرکز بالای شکستگی و مستعد ناپایداری چاه‌های اکتشافی - توسعه‌ای معرفی می‌شوند.

تغییرات پارامترهای شکستگی شامل فاصله‌داری، فراوانی، شدت، تراکم و طول دسته شکستگی‌ها (شکل‌های ۴، ۶ و ۷) نشان می‌دهد که الگوی توزیع شکستگی در تاق‌دیس کوه آسماری با تاق‌دیس‌های تحت تأثیر گسل‌های طولی و عرضی یعنی تاق‌دیس‌های کوه سولک و کوه کمرآب، متفاوت است. در تاق‌دیس کوه آسماری که توسعه شکستگی‌ها در آن عمدتاً تحت تأثیر چین‌خوردگی است، بیشترین مقادیر شدت، تراکم و کمترین میزان فاصله‌داری و طول شکستگی‌ها در ناحیه لولایی می‌باشد (شکل‌های ۶ و ۷). میانگین تغییرات فاصله‌داری شکستگی‌ها حاصل از برداشت میدانی در یال پیشانی کمتر از یال پشتی است. حال آنکه میانگین شدت و تراکم دسته شکستگی‌ها که از روی تصاویر ماهواره‌ای محاسبه شده است، در یال پشتی بیشتر از یال پیشانی است. به دلیل شیب کمتر یال پشتی، رخنمون‌های مناسب‌تری برجا مانده‌اند، در نتیجه بر روی تصاویر ماهواره‌ای تشخیص بصری آنها بهتر صورت



شکل ۹. ایستگاه‌های برداشت، استریوگرام شکستگی‌های برداشت شده بر روی زمین و نمودارهای امتدادی شکستگی‌های به نقشه کشیده از تصاویر ماهواره‌ای از بخش‌های مختلف تاق‌دیس کوه کمرآب. وضعیت امتداد و شیب دسته شکستگی‌ها با استفاده از استریوگرام بر روی تصویر ماهواره‌ای در ایستگاه‌های مختلف نشان داده شده است.

پشتی است (شکل ۶). متناسب با کاهش فاصله‌داری دسته شکستگی‌ها در یال پیشانی، شدت و تراکم آنها نیز در این ناحیه از تاق‌دیس، افزایش یافته است (شکل ۷) که مؤید افزایش دگرشکلی متأثر از راندگی در یال پیشانی است. بر اساس مطالعات Ju et al., 2014 در یک چین خم گسلی بیشینه تراکم شکستگی‌ها در مجاورت گسل راندگی است و با دور شدن از پهنه گسلی به تدریج مقادیر تراکم کاهش می‌یابد. چنین شواهدی با مطالعات صورت گرفته در تاق‌دیس Turtle در آلبرتا کانادا توسط Humair et al., 2013، تاق‌دیس کوه Wyoming در Wyoming توسط Bellahsen et al., 2006 که در آن مطالعات نیز یال‌های پیشانی گسل خورده با توسعه شکستگی‌ها همراه بوده‌اند، همخوانی دارد.

اثر گسل راندگی بر ویژگی‌های شکستگی‌های همراه با چین‌ها

بر اساس نتایج بدست آمده از مطالعه هندسی دسته شکستگی‌ها (شکل - های ۶، ۷ و ۸) و الگوی توزیع شکستگی‌ها در تاق‌دیس کوه سولک تابع راندگی پیشانی با روند شمال غربی - جنوب شرقی (شکل‌های ۲ و ۵: ت و ۸) می‌باشد و از الگوی توزیع شکستگی‌ها در چین‌های فشارشی (Forced Fold) ارائه شده توسط Cosgrove and Ameen., 2000 تبعیت می‌کند. در چین‌های فشارشی امتداد اکثر شکستگی‌ها موازی و عمود بر روند راندگی بوده و با دور شدن از گسل شدت دگرشکلی کم می‌شود. نتایج درصد فراوانی و نمودارهای رزیدیاگرام شکستگی‌ها (شکل ۸)، توسعه و افزایش فراوانی دسته‌های موازی (N130, E-W) و عمود (N50) بر راندگی یال پیشانی را نشان می‌دهند. همچنین فاصله‌داری هر پنج دسته شکستگی در یال پیشانی کمتر از یال

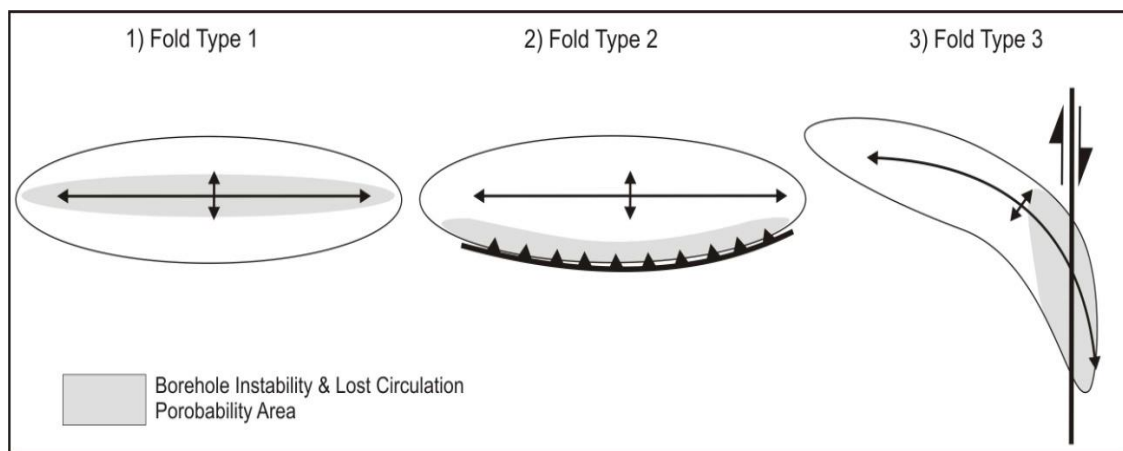
عرضی کازرون، کاهش یافته است. در مطالعات دیگر، تشکیل و توسعه شکستگی‌های با روند شمالی - جنوبی و شرقی - غربی در ناحیه فارس (Lacombe et al., 2011; Carminati et al., 2014)، ناحیه کردستان عراق (Reif et al., 2012) و فروبار دزفول (Ahmadhadi et al., 2007, 2008; Tavani et al., 2011) نیز به گسل‌های عرضی نسبت داده شده‌اند.

اثر توزیع، فراوانی و ویژگی‌های شکستگی‌های همراه با چین در ناپایداری چاه‌های اکتشافی - توسعه‌ای

بر اساس مطالعات Pierdominici et al., 2011، در طی حفاری، احتمال ناپایداری و میزان هرزروی گل حفاری در نواحی با تراکم شکستگی بالا، بیشتر است. نتایج بدست آمده در این مطالعه از بررسی شکستگی‌های همراه با تاقدیس‌های سه گانه مورد مطالعه نشان داد که نواحی پرتراکم شکستگی در تاقدیس‌های زاگرس یکسان نیست و با توجه به موقعیت آنها نسبت به گسل‌های عرضی و یا طولی متفاوت است (شکل‌های ۷ و ۸). بدین ترتیب بیشترین هرزروی و احتمال ناپایداری در چین‌های نوع اول همچون تاقدیس کوه آسماری در ناحیه لولایی متأثر از دسته شکستگی‌های اول و دوم است در حالیکه در چین‌های نوع دوم (تاقدیس کوه سولک) متأثر از دسته شکستگی‌های اول، دوم و پنجم در ناحیه یالی از چین که توسط گسل رانده قطع شده است و در چین‌های نوع سوم (تاقدیس کمرآب) توسط شکستگی‌های دسته چهارم و پنجم در نواحی از چین که متأثر از گسل عرضی است، رخ خواهد داد (شکل ۱۰).

اثر گسل عرضی بر ویژگی‌های شکستگی‌های همراه با چین‌ها

بر اساس نتایج پارامترهای دسته شکستگی‌های تاقدیس کوه کمرآب (شکل‌های ۶، ۷ و ۹)، الگوی توزیع شکستگی‌ها متأثر از گسل عرضی ایده با روند شمالی - جنوبی می‌باشد (شکل‌های ۲ و ۹) و این تأثیر در نواحی تاقدیس، بسته به نزدیکی به این گسل عرضی است (شکل‌های ۶، ۷ و ۹). گسل عرضی ایده علاوه بر تغییر در روند اثر سطح محوری تاقدیس کمرآب (شکل‌های ۲ و ۹) باعث توسعه گسل‌ها نیز شده است (داودی و یساقی، ۱۳۹۰). از مهمترین این تغییرات، افزایش فراوانی دسته پنجم شکستگی‌ها با روند E-W از یال‌ها به سمت دماغه جنوب شرقی، جایی که توسط پهنه گسل ایده تغییر روند داده، می‌باشد (شکل ۹). نمودار امتدادی و استریوگرام‌های دسته شکستگی‌ها نیز مؤید این تمرکز در دماغه جنوب شرقی می‌باشند (شکل ۹). مقایسه فاصله‌داری شکستگی‌ها، کاهش ۲۰ سانتیمتری در بازه فاصله‌داری دسته شکستگی‌ها را از سمت یال‌های چین بسمت دماغه جنوب شرقی تاقدیس نشان می‌دهند (شکل ۶). بیشترین کاهش فاصله‌داری در دسته‌های دوم، سوم و چهارم به ترتیب با ۱۵-۱۰، ۱۰-۲۰ و ۳۰ سانتیمتر می‌باشد. همچنین افزایش تراکم، شدت و کاهش طول دسته شکستگی‌ها (شکل ۷) در دماغه جنوب شرقی مؤید تأثیر گسل ایده بر روی تمرکز شکستگی‌ها در این ناحیه از تاقدیس می‌باشد. مشابه چنین مطالعه‌ای از اثر پهنه گسلی عرضی بر روی فاصله‌داری و روند شکستگی‌ها در تاقدیس سربالشی در ناحیه فارس نیز توسط Carminati et al., 2014 ارائه گردیده است جایی که شکستگی‌ها در دماغه شمال غربی تاقدیس در مجاورت گسل کازرون تغییر روند آشکار داده و فاصله‌داری دسته شکستگی‌ها متأثر از اثر پهنه گسل



شکل ۱۰. نواحی احتمالی ناپایداری چاه‌ها و هرزروی زیاد سیال حفاری در سه نوع تاقدیس مختلف مورد مطالعه

باشد. همچنین در چین‌های مجاور گسل‌های عرضی توسعه شکستگی نیز در مجاورت گسل عرضی رخ داده است و این نواحی نیز بیشترین اثر را بر ناپایداری چاه‌های اکتشافی - توسعه‌ای دارند. بر همین اساس بیشترین احتمال ناپایداری و هرزروی گل حفاری در تاقدیس‌های مرتبط با گسل راندگی طولی در یال گسل خورده در حالیکه در تاقدیس‌های متأثر از گسل‌های عرضی نواحی تحت تأثیر این گسل‌ها است. از آنجایی که مطالعات ساختاری دقیقی مشابه آنچه که در این مطالعه انجام شده برای تمامی تاقدیس‌های در مرحله حفاری صورت نگرفته است، معیار به دست آمده در این بررسی می‌تواند در حفاری‌های آتی راست‌آزمایی گردد.

قردانی

نتیجه گیری

نتایج حاصل از توزیع و ویژگی‌های شکستگی‌های رخنمون‌های سازند آسماری در تاقدیس‌های کوه آسماری، کوه کمرآب و کوه سولک نشان می‌دهد که تمرکز شکستگی‌ها در این چین‌ها متفاوت می‌باشد. تفاوت در تمرکز و توزیع شکستگی‌ها متأثر از موقعیت این تاقدیس‌ها نسبت به گسل‌های طولی و عرضی می‌باشد. در تاقدیس‌های بدون شواهد از اثر گسل، بیشینه تمرکز شکستگی‌ها در ناحیه لولایی است. بنابراین مناطق متصل به پهلوه‌های چین مناسب‌ترین محل برای حفاری چاه‌های اکتشافی - توسعه‌ای است. بیشینه تمرکز شکستگی‌ها در چین‌های مرتبط با گسل‌های طولی در یال رانده می-

خیز جنوب جهت همکاری در بخشی از مطالعات میدانی سپاسگزاری می نماید.

بدینوسیله از معاونت محترم زمین شناسی گسترشی شرکت ملی مناطق نفت

منابع

- داودی، ز.، یساقی، ع.، ۱۳۹۰، تأثیر فعالیت پهنه گسلی عرضی ایزه بر دگرریختی های پوشش رسوبی در زاگرس چین خورده - رانده، فصلنامه علوم زمین، شماره ۸۰، ص ۸۸ - ۷۱.
- حبیب نیا، ب.، دیناروند، ن.، ۱۳۹۲، بررسی معضل حفاری سازندهای شیلی و مارنی و طراحی سیال مناسب در میدان نفتی مارون، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۱۰، ص ۵۳ - ۴۸.
- مطیعی، ه.، ۱۳۷۲، زمین شناسی ایران: چینه شناسی زاگرس، سازمان زمین شناسی ایران، ۵۳۶ ص.
- Abdollahie Fard. I., Braathen. A., Mokhtari. M., Alavi. S., 2006, Interaction of the Zagros Fold-Thrust Belt and the Arabian-type, deep-seated folds in the Abadan Plain and the 4 Dezful Embayment, SW Iran. *Petroleum Geoscience (Geological Society of London)*, Vol: 2, No: 4, p: 347-362.
- Ahmadhadi. F.L., 2007, Early reactivation of basement faults in Central Zagros (SW Iran): evidence from pre-folding fracture populations in the Asmari Formation and Lower Tertiary paleogeography. in *Thrust Belts and Foreland Basins; From Fold Kinematics to Hydrocarbon Systems*, *Frontiers in Earth Sciences*, edited by O. Lacombe, J. Lavé, J. Verge's, and F. Roure, Springer Verlag, Chapter: 11, p 205-228.
- Ahmadhadi. F., Daniel. J., Lacombe. O., 2008, Evidence for pre-folding vein development in the Oligo-Miocene Asmari Formation in the Central Zagros Fold Belt, Iran. *Tectonics*, Vol: 27, p: 1-22.
- Alavi. M., 1994, Tectonics of the Zagros orogenic belt of Iran: new data and interpretations. *Tectonophysics*, Vol: 229, p: 211-238.
- Barton. C.A., and Zoback. M. D., 1999, Earth stress, rock fracture and wellbore failure-wellbore imaging technologies applied to reservoir geomechanics and environmental engineering. *Proceeding of the 4th SEGJ International symposium*, p: 49-56.
- Bellahsen. N., Fiore. P., Pollard. D.D., 2006, The role of fractures in the structural interpretation of Sheep Mountain Anticline, Wyoming. *Journal of Structural Geology*, Vol: 28, p: 850-867.
- Berberian. M., 1995, Master "blind" thrust faults hidden under the Zagros folds: active tectonics and surface morphotectonics. *Tectonophysics*, Vol: 241, p: 193-224.
- Blanc. E., Allen. M., Inger. S., Hassani. H., 2003, Structural styles in the Zagros simple folded zone, Iran. *Journal of the Geological Society, London*, Vol: 160, p: 401-412.
- Brudy. M., and Zoback. M., 1999, Drilling Induce Tensile Wall-Fractures: Implications for determination of in situ-stress orientation and magnitude. *international Journal of Rock mechanics and mining Science*, Vol: 36, p: 191-215.
- Carminati. E., Aldega. L., Bigi. S., Corrado. S., D'Ambrogio. C., Mohammadi. P., Shaban. A., Sherkati. S., 2013, Control of Cambrian evaporites on fracturing in fault-related anticlines in the Zagros fold-and-thrust belt. *International Journal of Earth Sciences*, p: 1-19.
- Carminati. E., Aldega. L., Trippetta. F., Shaban. F., Narimani. H., Sherkati. S., 2014, Control of folding and faulting on fracturing in the Zagros (Iran): The Kuh-e-Sarbalesh anticline. *Journ al of Asian Earth Sciences*, Vol: 79, p: 400-414.
- Casini. G., Gillespie. P., Vergés. J., Romaire. I., Fernández. N., Casciello. E., Saura. E., Mehl. C., Homke. S., Embry. J.-C., Aghajari. L., Hunt. D.W., 2011, Sub-seismic fractures in foreland fold and thrust belts: insight from the Lurestan Province, Zagros Mountains, Iran. *Petroleum Geoscience*, Vol: 17, No: 3, p: 263-282.
- Cosgrove. J., and Ameen. M., 2000, A comparison of the geometry, spatial organization and fracture patterns associated with forced folds and buckle folds. *Geological Society, London*, Vol: 169, p: 7-21.
- Dercourt. J., Zonenshain. L.P., Ricou. L.E., Kazmin. V.G., LE Pichon. X., Knipper. A.L., Grandjacquet. C., Sbertshikov. I. M., Geysant. J., Lepvrier. C., Pechersky. D.H., Boulin. J., Sibuet. J.-C., Savostin. L.A., Sorokhtin. O., Westphal. M., Bazhenov. M.L., Lauer. J.P., Biju-Dauval. B., 1986, Geological evolution of the Tethys belt from the Atlantic to the Pamirs since the Lias. *Tectonophysics*, Vol: 123, p: 241-315.
- 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*, Vol: 23, p: 259-277.
- Florez-Nino. J.M., Aydin. A., Mavko. G., Antonellini. M., Ayaviri. A., 2005, Fault and fracture systems in a fold and thrust belt: An example from Bolivia. *AAPG Bulletin*, Vol: 89, No.: 4, p: 471-493.
- Gholipour. A., 1998, Patterns and Structural Positions of Productive Fractures in the Asmari Reservoirs, Southwest Iran. *Journal of Canadian Petroleum Technology*, Vol: 37, p: 44-50.
- Gutmanis. J., and Ardevol i Oro. L., 2010, Application of Pyrenean Fractured Carbonate Outcrops for Subsurface Reservoir Characterisation. *72nd, EAGE Conference and Exhibition incorporating SPE EUROPEC*, P: 1-5.
- Haghi. A., Kharrat. R., Asef. M., Rezazadegan. H., 2013, Present-day stress of the central Persian Gulf: Implications for drilling and well performance. *Tectonophysics*, Vol: 608, p: 1429-1441.
- Hennings. P., Olson. J., Thompson. L., 2000, Combining Outcrop Data and Three-Dimensional Structural Models to Characterize Fractured Reservoirs: An Example from Wyoming. *AAPG Bulletin*, Vol: 84, No.: 6, p: 830-849.
- Hessami. K., Koyi. H., Talbot. C.J., 2001, The significance of strike-slip faulting in the basement of. *Journal of Petroleum Geology*, Vol: 24, p: 5-28.
- Humair. F., Pedrazzini. A., Epard. J., Froese. C., Jaboyedoff. M., 2013, Structural characterization of Turtle Mountain anticline (Alberta, Canada) and impact on rock slope failure. *Tectonophysics*, Vol: 605, p: 133-148.

- Íñigo, J., Laubach, S., 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*, Vol: 35, p: 201-218.
- Jackson, J., and McKenzie, D., 1984, Active tectonics of the Alpine-Himalayan Belt between western Turkey and Pakistan. *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, Vol: 77, p: 185-264.
- Ju, W., Hou, G., Zhang, B., 2014, Insights into the damage zones in fault-bend folds from geomechanical models and field data. *Tectonophysics*, Vol: 610, p: 182-194.
- Lacombe, O., Bellahsen, N., Mouthereau, F., 2011, Fracture patterns in the Zagros Simply Folded Belt (Fars): new constraints on early collisional tectonic history and role of basement faults. In: Lacombe, O., Grasemann, B., Simpson, G. (Eds.), Geodynamic evolution of the Zagros. *Geological Magazine*, Vol: 148, No: 5-6, p: 940-963.
- Lisle, R., 1994, Detection of zones of abnormal strains in structures using Gaussian curvature analysis. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Vol: 78, p: 1811-1819.
- McQuarrie, N., 2004, Crustal scale geometry of the Zagros fold-thrust belt, Iran. *Journal of Structural Geology*, Vol: 26, No: 3, p: 519-535.
- McQuillan, H., 1974, Fracture Patterns on Kuh-e-Asmari Anticline, Southwest Iran. *AAPG Bulletin*, Vol: 58, p: 236-246.
- McQuillan, H., 1973, Small-scale fracture density in Asmari Formation of SW Iran and its relation to bed thickness and structural setting. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, Vol: 57, p: 2367-238.
- Mobasher, K., and Babaie, H., 2008, Kinematic significance of fold- and fault-related fracture systems in the Zagros mountains, southern Iran. *Tectonophysics*, Vol: 451, p: 156-169.
- Nelson, R., 2001, *Geological analysis of naturally fractured Reservoirs*. Second Edition: Gulf Professional Publishing, 320 pp.
- Pierdominici, S., Mariucci, M., Montone, P., 2011, A study to constrain the geometry of an active fault in southern Italy through borehole breakouts and downhole logs. *Journal of Geodynamics*, Vol: 52, p: 279-289.
- Rajabi, M., Sherkati, S., Bohloli, B., Tingay, M., 2010, Subsurface fracture analysis and determination of in-situ stress direction using FMI logs: An example from the Santonian carbonates (Ilam Formation) in the Abadan Plain, Iran. *Tectonophysics*, Vol: 492, p: 192-200.
- Reif, D.D., Grasemann, B., Peresson, H., 2012, Fracture patterns in the Zagros fold-and-thrust belt, Kurdistan Region of Iraq. *Tectonophysics*, Vol: 576-577, p: 46-62.
- Rohrbaugh, M.B.J., Dunne, W., Mauldon, M., 2002, Estimating fracture trace intensity, density and mean length using circular scanlines and windows. *AAPG Bulletin*, Vol: 89, p: 2089-2104.
- Sattarzadeh, Y., Cosgrove, J., Vita-Finzi, C., 2000, The interplay of faulting and folding during the evolution of the Zagros deformation belt. *Geological Society, London, Special Publications*, Vol: 169, p: 187-196.
- Sepelher, M., 2001, The tectonic significance of the Kazerun Fault Zone, Zagros fold – thrust belt, Iran. *Ph.D. Thesis*, 216 p.
- Sherkati, S., Letouzey, J., Lamotte, D.F., 2006, Central Zagros fold-thrust belt (Iran): New insights from seismic data, field observation, and sandbox modeling. *Tectonics*, Vol: 25, P: 1-27.
- 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*, p: 97-116.
- Stephenson, B., Koopman, A., Hillgartner, H., McQuillan, H., Bourne, S., Noad, J., Rawnsley, K., 2007, Structural and stratigraphic controls on fold-related fracturing in the Zagros Mountains, Iran: implications for reservoir development. In: Lonergan, L., Jolley, R.J.H., Rawnsley, K., Sanderson, D.J. (Eds.), *Fractured reservoirs*. *Geological Society, London, Special Publications*, p: 1-21.
- Talbot, C., and Alavi, M., 1996, The past of a future syntaxis across the Zagros. In Salt Tectonics (Eds Blundell, D.J., Davison, I., Alsop, G.I.), *Geological Society of London, Special Publication*, Vol: 100, P: 89-110.
- Talebian, M., and Jackson, J., 2002, Offset on Main Recent Fault of NW Iran and implication for the later Cenozoic tectonics of the Arabia-Eurasia collision zone. *Geophysical Journal International*, Vol: 150, p: 422-439.
- Tavani, S., Storti, F., Soleimany, B., Fallah, M., Muñoz, J.G., 2011, Geometry, kinematics and fracture pattern of the Bangestan Anticline, Zagros, SW Iran. In: Lacombe, O., Grasemann, B., Simpson, G. (Eds.), Geodynamic evolution of the Zagros. *Geological Magazine*, Vol: 148, No.: 5-6, p: 964-979.
- Wennberg, O.P., Azizzadeh, M., Aqrabi, A.M., Blanc, E., Brockbank, P., Lyslo, K.B., Pickard, N., Salem, L.D., Savana, T., 2007, The Khaviz Anticline-an outcrop analogue to giant fractured Asmari Formation reservoirs in SW Iran. In: Lonergan, L., Jolly, R.J.H., Sanderson, D.J., Rawnsley, K. (Eds.), *Fractured Reservoirs*. *Geological Society, London, Special Publications*, p: 23-42.
- Wennberg, O.P., Svåná, T., Azizzadeh, M., Aqrabi, A., Brockbank, P., Lyslo, K., Ogilvie, S., 2006, Fracture intensity vs. mechanical stratigraphy in platform top carbonates: the Aquitanian of the Asmari Formation, Khaviz Anticline, Zagros, SW Iran. *Petroleum Geoscience*, Vol: 12, p: 235-245.
- Yassaghi, A., 2006, Integration of Landsat imagery interpretation and geomagnetic data on verification of deep-seated transverse fault lineaments in SE Zagros, Iran. *International Journal of Remote Sensing*, Vol: 27, No: 20, P: 4529-4544.
- Zeeb, C., Gomez-Rivas, E., Bons, P. D., Virgo, S., Blum, P., 2013, Fracture network evaluation program (FraNEP): A software for analyzing 2D fracture trace-line maps. *Computers and Geosciences*, Vol: 60, p: 11-22.