

ارزیابی متغیرهای کنترل کننده شدت شکستگی در توالی‌های رسوبی سازند آسماری در تاقدیس کوه آسماری، زاگرس چین خورده

یعقوب جلیلی^۱، محمدمهدی خطیب^{۲*} و علی یساقی^۳

^۱ دانشجوی دکترا، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

^۲ استاد، گروه زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

^۳ دانشیار، گروه زمین‌شناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۳/۲۶

چکیده

عوامل کنترل کننده شدت شکستگی شامل «سازوکار چین خوردگی، سنگ‌شناسی و ستبراً» با استفاده از مطالعات میدانی و تصاویر ماهواره‌ای در سازند آسماری در کوه آسماری بررسی شده‌اند. متغیرهای موقعیت، فاصله‌داری و گسترش عمودی شکستگی‌ها در سنگ‌آهک و آهک رسی با ستبراهای متفاوت در رخنمون‌های سازند آسماری در نواحی مختلف چین برداشت شده‌اند. حضور مقادیر زیاد کانی رس با مقاومت کم و تخلخل زیاد در سنگ‌آهک رسی، سبب کاهش مقاومت این سنگ و شدت شکستگی کمتر سنگ‌آهک رسی در مقایسه با سنگ آهک شده است. تغییرات شدت شکستگی در این دو نمونه سنگی نشان می‌دهد که ستبرای واحدها روی شدت شکستگی‌ها تأثیر چندانی ندارد. شکستگی‌های موازی و عمود بر محور چین متأثر از سازوکار چین خوردگی خمشی-لغزشی و کشش سطح خارجی چین (Outer arc extension) در ناحیه لولایی، بیشترین توسعه‌یافتگی را نشان می‌دهند و بیشترین تأثیر را روی ناپایداری چاه‌های حفاری دارند. بر اساس نتایج، بیشترین شدت شکستگی در لولای چین بوده و سازوکار چین خوردگی مهم‌ترین متغیر کنترل کننده شدت شکستگی‌هاست.

کلیدواژه‌ها: شکستگی، سازوکار چین خوردگی، سنگ‌شناسی، ستبراً، کوه آسماری.

*نویسنده مسئول: دکتر محمدمهدی خطیب

E-mail: mkhatib@birjand.ac.ir

۱- پیش‌نوشتار

شدت شکستگی به عنوان یکی از مهم‌ترین متغیرهای مؤثر بر بهره‌وری و ناپایداری چاه‌ها در مخازن کربناتی شکسته شده کمرندهای چین-رانده شناخته می‌شود (Nelson, 2001; Wennberg et al., 2006; Awdal et al., 2013; Zoback, 2007). شدت شکستگی‌ها توسط سه عامل (۱) سازوکار چین خوردگی، (۲) ویژگی‌های مکانیکی سنگ (اندازه دانه، ترکیب و تخلخل) و (۳) ستبرای لایه کنترل می‌شود (Wennberg et al., 2006). در حفاری‌های روزانه در سازندهای مخزنی میادین هیدروکربوری فروبار دزفول مانند مارون و گچساران، سیال حفاری هرزروی زیادی دارد (Gholipour, 1998; Movahed et al., 2014). در برخی از چاه‌ها میزان این هرزروی‌ها به حدی افزایش می‌یابد که سبب از دست دادن چاه می‌شود. یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر افزایش هرزروی طی حفاری، توسعه شکستگی‌هاست (Gholipour, 1998; Barton & Zoback, 1999; Brudy & Zoback, 1999).

مطالعات پیشین روی شکستگی‌ها در زاگرس، موقعیت ساختاری را به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر شدت شکستگی‌ها دانستند (Gholipour, 1998; McQuillan (1973; Carminati et al., 2014; Awdal et al., 2013). در برابر آن، شدت شکستگی‌ها در تاقدیس کوه آسماری را متأثر از ستبرای لایه‌ها دانسته و تأثیر موقعیت ساختاری را کم تأثیر عنوان کرده است. همچنین در توالی‌های رسوبی آکیتانین در تاقدیس خویز، در مقایسه سنگ‌شناسی و ستبراً مشخص شد که شدت شکستگی‌ها بیشتر متأثر از سنگ‌شناسی است (Wennberg et al., 2006 & 2007). Nematı & Pezeshk (2005) با مطالعه شکستگی‌های زیرسطحی در یکی از میادین جنوب باختر ایران، نشان دادند که شدت شکستگی با سنگ‌شناسی و ویژگی‌های پتروفیزیکی ارتباط مستقیم دارد.

برای مقایسه عوامل سه‌گانه مؤثر بر شدت شکستگی‌ها، می‌توان تأثیر آنها را در واحدهای سنگی با ستبراهای متفاوت در سازند آسماری در تاقدیس کوه آسماری بررسی کرد. در این پژوهش با انتخاب تاقدیس کوه آسماری و واحدهای آهکی و

آهک رسی سازند آسماری با ستبراهای متفاوت، تأثیر چین خوردگی و ستبرای روی شدت شکستگی‌ها بررسی خواهد شد.

۲- زمین‌شناسی ناحیه‌ای

منطقه مورد مطالعه در شمال فروبار دزفول و باختر پهنه ایذه در کمر بند چین خورده زاگرس قرار گرفته است. کمر بند چین خورده زاگرس در نتیجه برخورد پوسته ایران و عربستان در زمان میوسن- پلیوسن تشکیل شده است (Hessami et al., 2001). تاقدیس کوه آسماری با رخنمون سازند آسماری، نمونه آشکاری از چین خوردگی در این ناحیه است (شکل ۱). این تاقدیس نامتقارن و تمایل آن به سوی جنوب باختر است (شکل ۲). شیب یال شمالی ۳۵°-۲۵°، شیب یال جنوبی ۴۰°-۳۰° و موقعیت محور ۳۰°، ۱۲۶° است. همچنین نسبت طول موج چین به طول اثر محوری ۵: ۱ است و مطابق با تقسیم‌بندی (Sattarzadeh et al., 2000) در دسته چین‌های Pure Buckle قرار می‌گیرد.

۲-۱. سازند آسماری

سن سازند آسماری از الیگوسن تا میوسن و دارای دو بخش است؛ بخش ماسه‌سنگی 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 تاقدیس مورد مطالعه این پژوهش است، برش نمونه سازند آسماری است. در یال پیشانی بر اثر فرسایش سازند آسماری، سازند پابده رخنمون پیدا کرده است. برش نمونه آهک آسماری که شکستگی‌های گسترش یافته روی آن در این پژوهش مطالعه شده است، اولین بار توسط ریچادسون و توماس (مطیعی، ۱۳۷۲) در تنگ گل ترش در تاقدیس کوه آسماری معرفی شده است. این برش نمونه ۳۱۴ متر ستبراً دارد و بیشتر شامل آهک‌های مقاوم کرم و قهوه‌ای رنگ، آهک‌های رسی و میان‌لایه‌هایی شامل مارن خاکستری و مارن سرخ است. این سازند

شده‌اند (شکل‌های ۲ و ۷). هر ۵ دسته شکستگی روی نمودارهای امتدادی به نقشه کشیده از روی تصاویر ماهواره‌ای نیز دیده می‌شوند (شکل ۷). شکستگی‌های موازی (N130) و عمود (N50) بر محور چین، فراوانی بیشتری در ناحیه لولایی دارند. همچنین این دو دسته شکستگی، بیشترین میزان بازشدگی را دارند و آرایش آنها نسبت به هم به صورت منظم است. مقایسه مقادیر شدت شکستگی نشان می‌دهد که شدت شکستگی در واحدهای آهکی و آهک رسی متفاوت است (شکل‌های ۸ و ۹). مقادیر شدت شکستگی در واحدهای آهکی در نواحی مختلف چین (به‌ویژه در یال پستی و لولا) در مقایسه با واحدهای آهک رسی بیشتر است (شکل ۸). همچنین شدت شکستگی در مقایسه با ستبرای واحدهای سنگی تغییرات محسوسی نشان نمی‌دهد (شکل ۹). مقایسه تغییرات شدت شکستگی در نواحی مختلف چین در واحدهای آهکی و آهک رسی به‌طور جداگانه نشان می‌دهد که شدت شکستگی در لولا بیشتر از یال‌هاست (شکل ۹). همچنین شدت شکستگی در یال‌های پیشانی در هر دو واحد سنگی بیشتر از یال پستی هستند (شکل ۹). عدم تغییر شدت شکستگی نسبت به تغییرات ستبرای نیز در طی برداشت‌های میدانی دیده شد (شکل ۱۰). بسیاری از دسته شکستگی‌ها مرزهای لایه‌بندی را قطع کرده‌اند و از نوع Non-stratobound هستند (شکل ۱۰). در برش عمودی در یال‌های پیشانی دسته‌های شکستگی موازی و عمود بر محور چین سطح لایه‌بندی را قطع می‌کنند (شکل ۱۰). در یال‌های پیشانی در برش عمودی لایه‌بندی، شکستگی‌های دسته اول و دوم با مقدار تقریبی ۱۰ متر بیشترین گسترش عمودی (Vertical Extent) را دارند (شکل ۱۱). دسته شکستگی‌ها بیشترین میزان دامنه شدت شکستگی را در لولا دارند (شکل ۱۱). بیشترین میزان شدت شکستگی در دسته‌های موازی و عمود بر محور چین به دست آمده است (شکل ۱۱). همچنین شدت شکستگی در یال‌های پیشانی نسبت به یال پستی بیشتر است.

۵- بحث

بررسی شدت شکستگی در توالی‌های رسوبی آکیتانین و بوردیگالین در تاقدیس کوه آسماری نشان می‌دهد که مهم‌ترین عامل مؤثر بر شدت شکستگی، هندسه و سازوکار چین‌خوردگی است. سازوکار خمشی- لغزشی و کشش کمان بیرونی سطح چین‌خورده سبب تمرکز شکستگی‌های کششی به موازات محور چین در لولا شده است. مقایسه شدت شکستگی در واحدهای رسوبی آهکی و آهک رسی نشان داد که شدت شکستگی در واحدهای آهکی بیشتر است. همچنین مشخص شد که ستبرای واحدهای رسوبی، تأثیر چندانی بر شدت و گسترش عمودی شکستگی‌ها ندارند. به گونه‌ای که تغییرات ستبرای تا یک متر، تأثیری بر شدت شکستگی واحدهای رسوبی ندارد، ولی در واحدهای آهکی با افزایش ستبرای، شدت شکستگی کمتر می‌شود. در ادامه بحث به بررسی چگونگی تأثیر متغیرهای یادشده روی شدت و گسترش شکستگی پرداخته می‌شود.

۵-۱. تأثیر چین‌خوردگی روی شدت شکستگی‌ها

بر پایه نتایج به دست آمده از مطالعه شکستگی‌ها در نواحی مختلف تاقدیس کوه آسماری، شدت شکستگی‌ها متأثر از هندسه و سازوکار چین‌خوردگی است. شکستگی‌های موازی محور چین متأثر از سازوکار خمشی- لغزشی و کشش کمان بیرونی سطح چین‌خورده در ناحیه لولایی، بیشترین شدت شکستگی و گسترش عمودی را پیدا کرده‌اند. موقعیت دسته شکستگی‌ها در ایستگاه‌های برداشت و در نمودارهای امتدادی بیانگر گسترش شکستگی‌های دسته اول و دوم در لولا هستند (شکل‌های ۲ و ۷). با فرض اینکه ۵ دسته شکستگی پیش از چین‌خوردگی تشکیل شده‌اند، تغییر امتداد شکستگی‌ها در دماغه جنوب خاوری نیز دیده شده است (شکل‌های ۲ و ۷). با وجود اینکه زمان تشکیل شکستگی‌های تاقدیس کوه آسماری پیش، همزمان و یا پس از چین‌خوردگی است (Ahmadhadi et al., 2008; Casini et al., 2011)، ولی بیشتر شکستگی‌های کششی به‌ویژه شکستگی‌های موازی

شامل بخش‌های آسماری زیرین (الیگوسن)، میانی (آکیتانین) و بالایی (بوردیگالین) است (Thomas, 1950; Adams & Bourgeois, 1967; Thomas (1948 & 1949)). سازند آسماری را بر پایه سنگواره‌ها و سن، به سه بخش آسماری پایینی، آسماری میانی و آسماری بالایی تقسیم کرد. آهک‌های آسماری پایینی به سن میوسن در برش نمونه (تاقدیس کوه آسماری) حضور ندارند. آهک‌های آسماری میانی را می‌توان به دو بخش تقسیم کرد. بخش‌های زیرین آهک‌های آسماری میانی بیانگر تکرار حالت ساحل و حوضه Shelf-Basin در آکیتانین پایینی است. از دید سنگ‌شناسی کربنات‌های زیرین آسماری میانی شامل وکستون‌ها و پکستون‌های به شدت دولومیتی شده است که به صورت بکخواخت در منطقه گسترش دارند. در بخش بالایی آسماری میانی حوضه پابده- کلهر به کلی ناپدید شده است و با پسروی خط ساحلی شمالی، همه حوضه در زیر بک محیط ساحلی کم‌زرفا فرو می‌رود که با گسترش کربنات‌هایی مانند مادستون، وکستون و کربنات‌های دولومیتی دانه‌ریز مشخص می‌شود. آهک‌های آسماری بالایی از دید زایشی با آهک‌های آسماری میانی و پایینی تفاوت دارند. چون آهک‌های آسماری بالایی حاصل محیط رسوبی دریایی هستند که در طی بوردیگالین در منطقه پیشروی کرده است. این آهک‌ها در همه منطقه به صورت تناوب و کستون و پکستون که به طرف جنوب دولومیتی شده است و به همراه انیدریت خود را نشان می‌دهند.

۳- روش مطالعه

در این پژوهش، مطالعه شکستگی‌ها روی داده‌های میدانی و تصاویر ماهواره‌ای رخنمون‌های سطحی سازند آسماری تاقدیس کوه آسماری صورت گرفته است. در این مطالعه دو نمونه از واحدهای آهکی بخش‌های میانی و بالایی سازند آسماری که تقریباً در ۹۰ درصد از رخنمون‌های سازند آسماری دیده شده‌اند، برای مطالعه انتخاب شده‌اند. واحدهای انتخابی شامل آهک‌های قهوه‌ای رنگ و آهک‌های رسی به رنگ نخودی تا کرم روشن، با ستبراهای ۱/۶-۰/۵ متر در نواحی یال‌ها و لولا هستند (شکل ۵). متغیرهای موقعیت هندسی، فاصله‌داری، فراوانی و دسته‌های اصلی و گسترش دسته‌های شکستگی در طول ۱۰ متر از خط برداشت عمود بر راستای چیره شکستگی‌ها در سطح و برش لایه‌بندی‌ها به روش برداشت خطی اندازه‌گیری شد. تحلیل موقعیت هندسی دسته شکستگی‌ها با استفاده شبکه استریونت هم‌مساحت نیم کره پایینی اشمیت به صورت استریوگرام و نمودار امتدادی صورت گرفت. میزان فاصله‌داری دسته‌های شکستگی با استفاده از رابطه $S=L/N$ به دست آمده است (شکل ۶) که در این رابطه S فاصله‌داری شکستگی‌ها، L طول Scanline و N شمار شکستگی‌ها در واحد طول است. همچنین شدت شکستگی (FI or P10) نیز به روش Dershowitz & Herda (1992) و با استفاده از رابطه $FI = P10 = 1/S_{mean}$ به دست آمده است (شکل ۶). S_{mean} میانگین فاصله‌داری دسته شکستگی‌هاست. نتایج محاسبات شدت شکستگی در واحدهای آهکی و آهک رسی با ستبراهای متفاوت در یال‌ها و لولای تاقدیس کوه آسماری مقایسه و تحلیل شده است.

۴- شکستگی‌ها

در تاقدیس کوه آسماری متغیرهای هندسی شکستگی‌ها در سازند آسماری در نواحی یال‌های پستی و پیشانی، لولا و دماغه شمال باختری در واحدهای آهکی و آهک رسی در طول ۱۰ متر از خط برداشت (Scanline)، برداشت شده‌اند. راستا و شیب دسته شکستگی‌های اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های مختلف در تاقدیس کوه آسماری در شکل‌های ۲ و ۷ با استفاده از استریونت و نمودارهای امتدادی نشان داده شده است. شکستگی‌ها بر پایه موقعیت هندسی به ۵ دسته تقسیم شده‌اند؛ دسته اول: $N125 \pm 10$ ؛ دسته دوم: $N035-50$ ؛ دسته سوم: $N020 \pm 10$ ؛ دسته چهارم: $N00 \pm 10$ ؛ دسته پنجم: $N090 \pm 10$ ؛ که در نواحی یال‌ها و لولا دیده

وابستگی میان شدت شکستگی و سنگ‌شناسی در توالی‌های آکیتاین در تاق‌دیس خويز در زاگرس توسط (Wennerg et al. (2006 & 2007)، در کرنات‌های کرتاسه در Central Apennines ایتالیا به وسیله (Di Cuia et al. (2004) و در کرنات‌های گرو لیبورن آلاسکا توسط (Hanks et al. (1997) گزارش شده است.

همچنین نتایج شدت شکستگی در واحدهای آهکی و آهک رسی در توالی‌های رسوبی آکیتاین و بوردیگالین در تاق‌دیس کوه آسماری نشان داد که تأثیر ستبرای واحدها (تا یک متر) روی شدت شکستگی ناچیز است (شکل‌های ۹ و ۱۰). ولی با افزایش ستبرا (بیشتر از یک متر)، شدت شکستگی در واحدهای آهکی کمتر می‌شود. با توجه به اینکه میان واحدهای رسوبی آهک و آهک رسی، اختلاف مقاومتی کمی وجود دارد، میان فاصله‌داری شکستگی‌ها با ستبرای لایه‌ها، همخوانی مناسبی دیده نشده است (شکل ۱۰). به باور (Wennerg et al. (2006) عدم تناسب شدت شکستگی و ستبرا، مربوط به عدم اختلاف مقاومتی زیاد میان واحدهای رسوبی است؛ به گونه‌ای که در توالی‌های رسوبی با اختلاف مقاومتی بالا، میان شدت شکستگی و ستبرا، ارتباط مناسبی وجود دارد. (Wennerg et al. (2006) در تاق‌دیس خويز نشان داد که در نبود واحدهایی که کمتر رفتار شکننده دارند (مانند شیل‌ها و مارن‌ها در رسوبات آکیتاین)، ستبرا تأثیر قابل توجهی بر شدت شکستگی ندارد. ارتباط ضعیف میان شدت شکستگی و ستبرا توسط (Awdal et al. (2013) در سازند Shiranish در تاق‌دیس Bina Bawi در شمال خاور عراق و (Hanks et al. (1997) در Lisburne Group در آلاسکا گزارش شده است.

۵-۳. کاربرد شدت شکستگی در ناپایداری چاه‌ها

بر پایه مطالعات صورت گرفته بهینه‌سازی حفاری چاه‌های توسعه‌ای نفتی در مخازن شکسته شده تابع تغییرات سه‌بعدی شدت یا فاصله‌داری شکستگی‌ها است (Nelson, 2001). در واحدهای شکننده با اختلاف مقاومت کم، شکستگی‌های موازی و عمود بر محور چین که گسترش عمودی زیادی دارند، می‌توانند مسبب ناپایداری چاه‌ها شوند. این دسته شکستگی‌ها که در بیشتر نواحی چین به صورت گسل‌های عادی دیده شده‌اند (شکل ۱۰)، باید در طراحی مسیر حفاری در حفاری‌های جهت‌دار مورد نظر قرار گیرند. همچنین بیشینه شدت شکستگی این دسته شکستگی، در ناحیه لولایی است. بنابراین با توجه به شدت، گسترش عمودی و بازشدگی زیاد این دسته شکستگی‌ها، احتمال هرزروی سیال حفاری در این شکستگی‌ها بیشتر است.

۶- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مطالعه شکستگی‌ها در واحدهای آهکی و آهک رسی سازند آسماری با ستبرای متفاوت در تاق‌دیس کوه آسماری نشان داد که بیشترین شدت شکستگی در نواحی چین نیز در لولای چین و کنترل‌کننده اصلی شدت شکستگی، هندسه و سازوکار چین‌خوردگی است. همچنین این نتایج نشان داد که شدت شکستگی با ستبرای واحدهای سنگی کمتر از ۱ متر همخوانی ندارد. همچنین واحدهای آهک رسی به دلیل رس و تخلخل بیشتر در نتیجه مقاومت پایانی کمتر، شدت شکستگی کمتری در مقایسه با واحدهای آهکی دارند. با توجه به نتایج، یال‌های تاق‌دیس در مخازن تاق‌دیس با هندسه مشابه تاق‌دیس کوه آسماری مناسب‌ترین مکان‌ها برای حفاری هستند. با توجه به اینکه شدت شکستگی واحدها در نواحی مختلف تاق‌دیس یکسان نیست، به دلیل اثر گسل‌خوردگی پس از تشکیل چین، پیش از انتخاب محل حفاری چاه‌های توسعه‌ای برای پیش‌بینی ناپایداری‌ها، انجام چنین مطالعاتی می‌تواند بسیار سودمند باشد.

سپاسگزاری

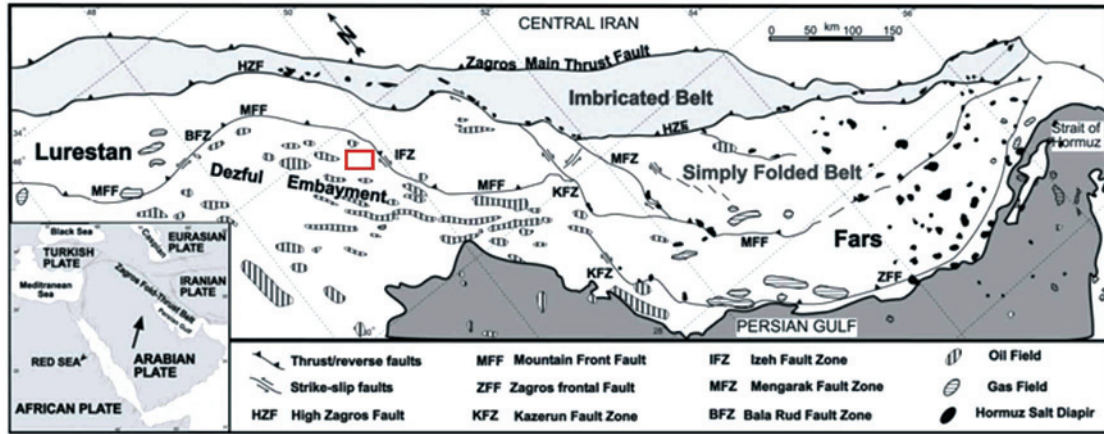
بدین وسیله از معاونت محترم زمین‌شناسی گسترشی شرکت ملی مناطق نفت‌خیز جنوب برای همکاری در بخشی از مطالعات میدانی سپاسگزاری می‌شود.

و عمود بر محور چین، در زمان چین‌خوردگی تشکیل شده‌اند. همچنین امتداد شکستگی‌ها به نسبت متقارن با محور چین هستند (شکل‌های ۲ و ۷) که نشان‌دهنده تأثیر پذیرفتن شکستگی‌ها از چین‌خوردگی است. مقایسه تغییرات شدت شکستگی واحدهای رسوبی نشان می‌دهد که بیشترین شدت شکستگی واحدهای آهکی و آهک رسی در بخش لولایی چین است (شکل‌های ۸ و ۹) و با مدل (Lisle (1994) که نشان می‌دهد میان خمش سطوح لایه‌بندی و شدت شکستگی‌ها ارتباط مستقیم برقرار است، همخوانی دارد. دسته شکستگی‌های اول و دوم در ناحیه لولایی، بیشترین میزان شدت شکستگی را دارند (شکل ۱۱) و در برش‌های عمودی لایه‌بندی، این دسته شکستگی‌ها به صورت گسل‌های عادی تقریباً بیشتر مرزهای لایه‌بندی را قطع کرده‌اند و بیشترین گسترش عمودی را دارند (شکل ۱۰). گسل‌های عادی ناحیه لولایی پیش‌تر در کوه پهن و کوه آسماری توسط (Colman-Sadd (1973 & 1974) و در کوه شاه‌نشین توسط (McQuillan (1973) بررسی شده‌اند که به باور (McQuillan (1973) گسل‌های عادی در یال‌ها نیز حاصل کشش سراسری کمان بیرونی سطح چین‌خورده هستند. چنین شواهدی از تأثیر چین‌خوردگی بر گسترش و شدت شکستگی، با مطالعات (Awdal et al. (2013) در تاق‌دیس Bina Bawi در ناحیه کردستان عراق همخوانی دارد. همچنین به باور (Stephenson et al. (2007) گسترش عمودی شکستگی‌های موازی و عمود بر محور چین، مرتبط با سازوکار خمشی- لغزشی و کشش کمان بیرونی سطح چین‌خورده است. (Belayneh & Cosgrove (2004) نیز بر این باورند که گسترش شکستگی‌های موازی محور چین در لولا، نشان‌دهنده سازوکار چین‌خوردگی Tangential- longitudinal است.

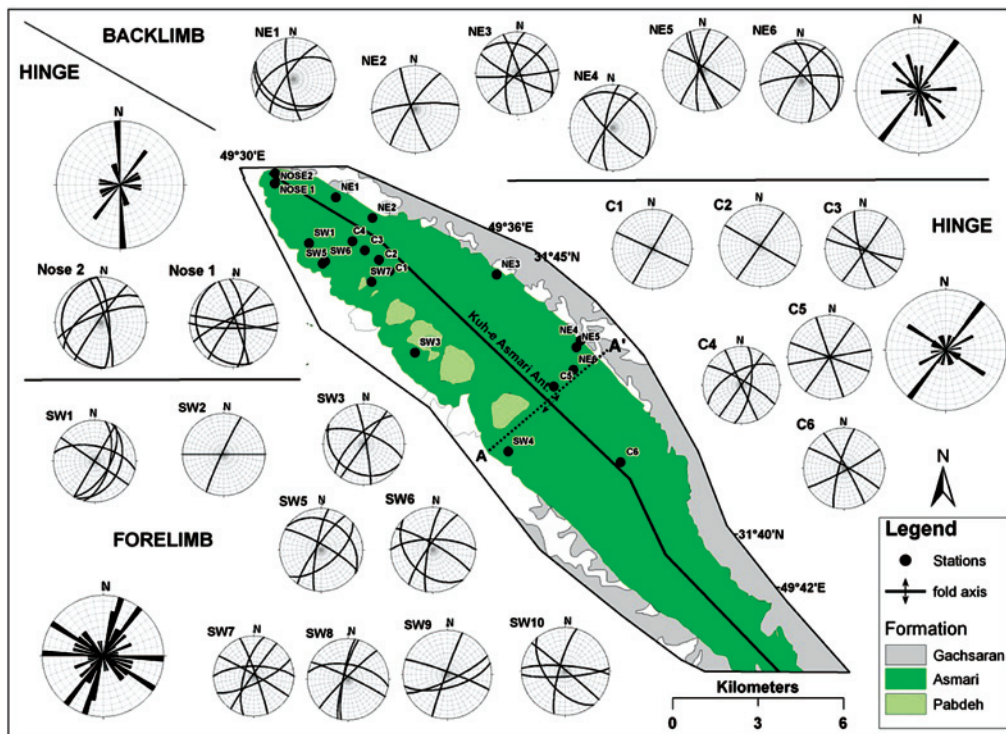
۵-۲. تأثیر چینه‌نگاری مکانیکی روی شدت شکستگی

نتایج شدت شکستگی در توالی‌های رسوبی سازند آسماری در سکانس‌های آکیتاین و بوردیگالین در تاق‌دیس کوه آسماری نشان داد که ارتباط نسبی میان شدت شکستگی و سنگ‌شناسی برقرار است. به گونه‌ای که شدت شکستگی در واحدهای آهکی بیشتر از آهک رسی است. همچنین مشخص شد که تأثیر ستبرا (تا یک متر) روی شدت شکستگی ناچیز است.

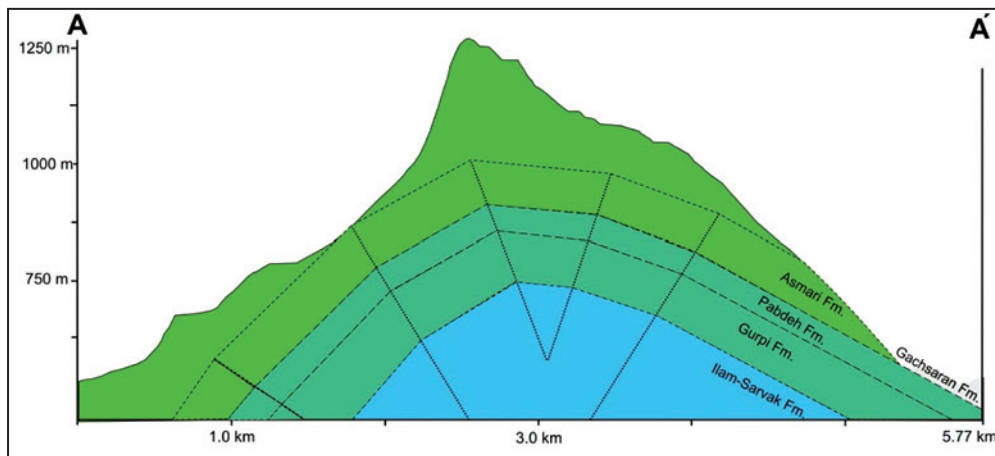
ارتباط میان سنگ‌شناسی و شدت شکستگی را می‌توان به این صورت بیان کرد که شدت شکستگی عموماً با مقاومت سنگ یا شکنندگی ارتباط مستقیم دارد و سنگ‌های با مقاومت بالا و شکننده‌تر، شدت شکستگی بیشتری دارند (Nelson, 2001). مقاومت پایانی سنگ نیز به نوبه خود متأثر از ترکیب و تخلخل سنگ است (Nelson, 2001; Wennerg et al., 2006). ارتباط مستقیم میان ترکیب و شدت شکستگی توسط پژوهشگران زیادی نشان داده شده است (Stearns, 1968; Stearns & Friedman, 1972; Currie, 1974). پژوهشگران این ارتباط را به مقاومت و شکل‌پذیری سنگ‌های مورد مطالعه نسبت داده‌اند. به‌طور کلی سنگ‌های با درصد بالایی از ترکیبات شکننده نسبت به درصد پایین‌تر، فاصله‌داری کمتری خواهند داشت (Nelson, 2001). همچنین با افزایش تخلخل، مقاومت سنگ کاهش می‌یابد (Nelson, 2001) و این ارتباط به وسیله (Price (1966)، (Dunn et al. (1973) و (Hoshino (1974) نشان داده شده است. به‌طور کلی سنگ‌های با ترکیب و فابریک مشابه با تخلخل کمتر، فاصله‌داری کمتر و شدت شکستگی بیشتری در مقایسه با همان سنگ‌ها با تخلخل بالاتر دارند (Nelson, 2001). در تاق‌دیس کوه آسماری، سنگ‌آهک‌های رسی افزون بر کانی‌کلسیت دارای درصدی از کانی رس نیز هستند؛ در صورتی که سنگ‌آهک بیشتر از کانی کلسیت تشکیل شده است. کانی‌های رسی مقاومت کمتر و تخلخل بیشتری در مقایسه با کانی کلسیت دارند. وجود کانی‌های رسی در سنگ‌آهک رسی سبب کاهش مقاومت پایانی این سنگ در مقایسه با سنگ‌آهک می‌شود. تفاوت در مقاومت پایانی سبب ایجاد شدت شکستگی بیشتر در واحدهای آهکی شده است (شکل‌های ۸ و ۹).



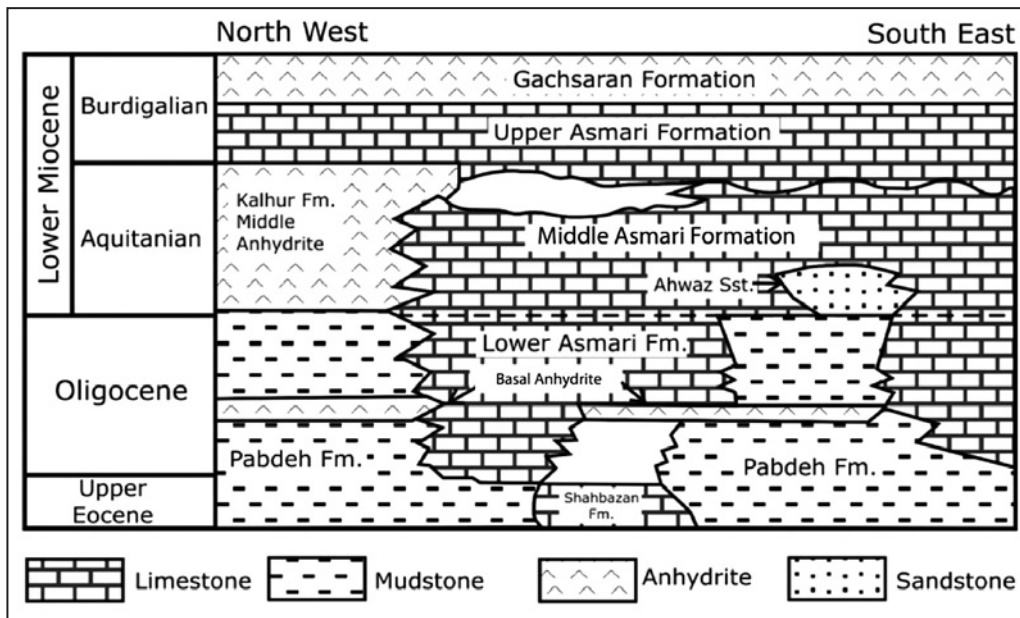
شکل ۱- نقشه ساختاری کمربند چین-رانده زاگرس (Sepehr & Cosgrove, 2004). چهار گوش محدوده مورد مطالعه به رنگ سیاه مشخص شده است.



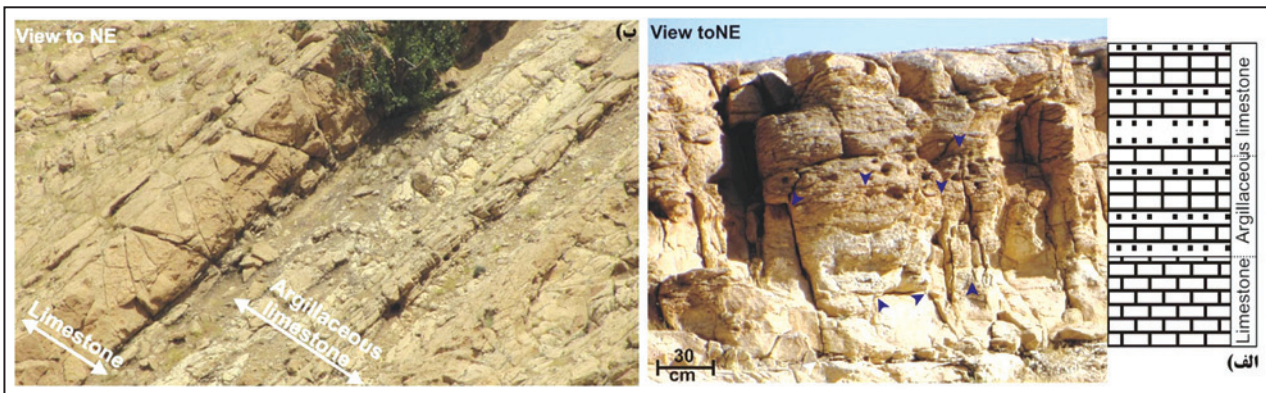
شکل ۲- استریوگرام و نمودار امتدادی دسته شکستگی‌ها در نواحی مختلف ناقدیس کوه آسماری.



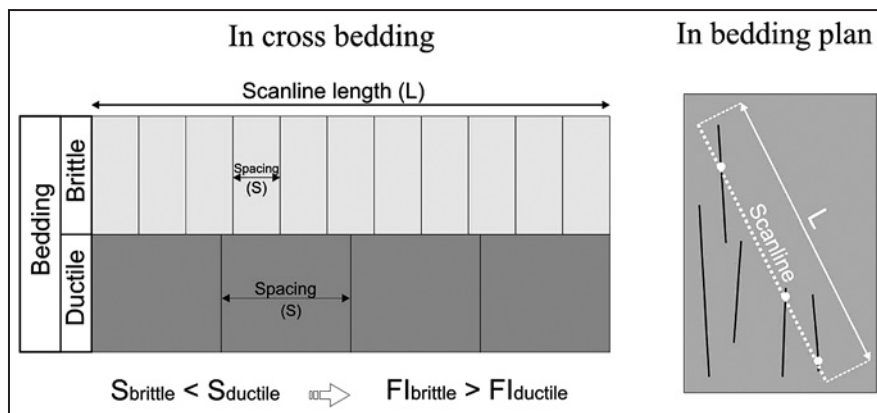
شکل ۳- مقطع عرضی ساختاری از ناقدیس کوه آسماری.



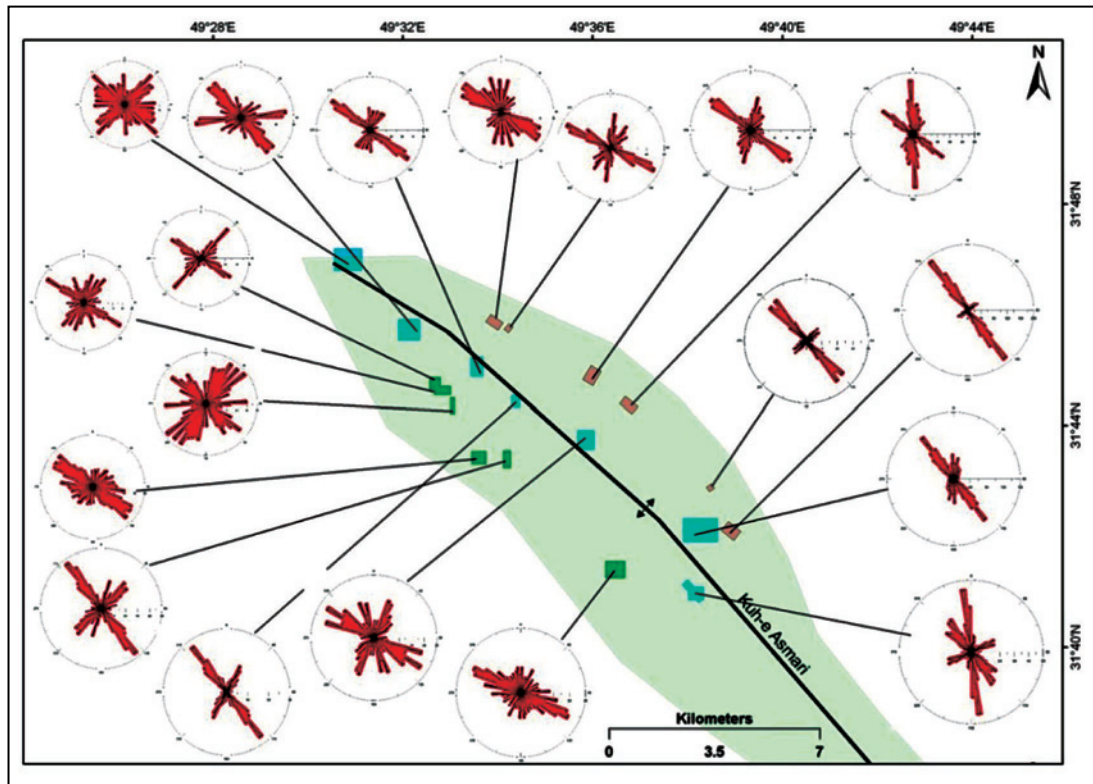
شکل ۴- بخش‌های سازند آسماری بر پایه سن و سنگواره‌ها در برش نمونه تنگ گل ترش در تاقدیس کوه آسماری (Mossadegh et al., 2009).



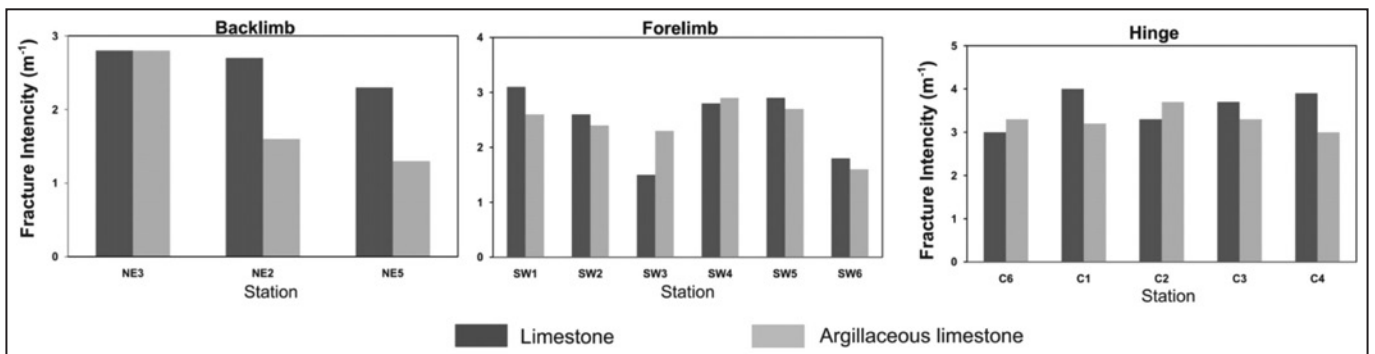
شکل ۵- واحدهای آهک و آهک رسی در پال پیشانی تاقدیس کوه آسماری. الف) توقف گسترش عمودی شکستگی‌های در آهک‌های رسی مشخص است؛ ب) واحدهای آهک رسی به رنگ نخودی تا کرم روشن و آهک به رنگ قهوه‌ای تا قهوه‌ای تیره دیده می‌شوند.



شکل ۶- چگونگی اندازه‌گیری فاصله‌داری و شدت شکستگی در سطح و در برش لایه‌بندی به روش (Dershowitz & Herda (1992).

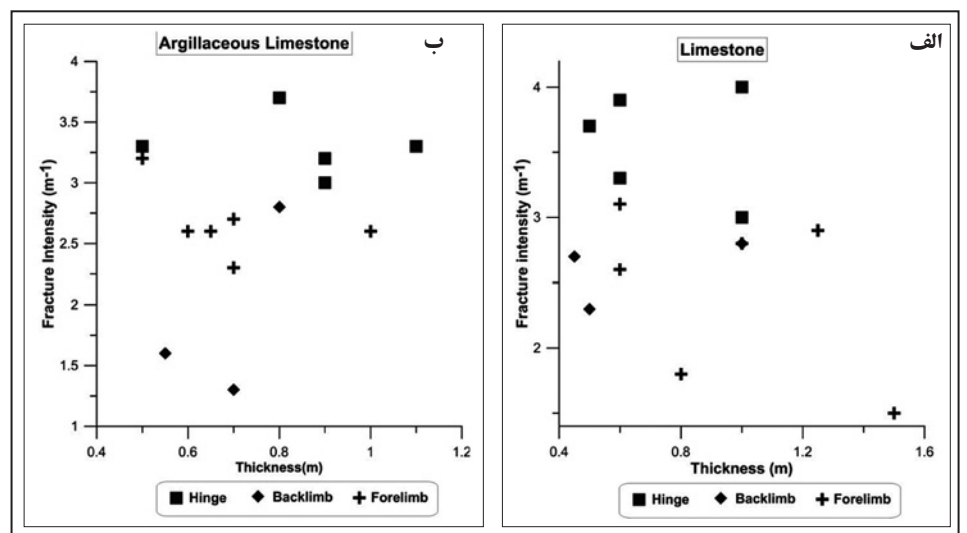


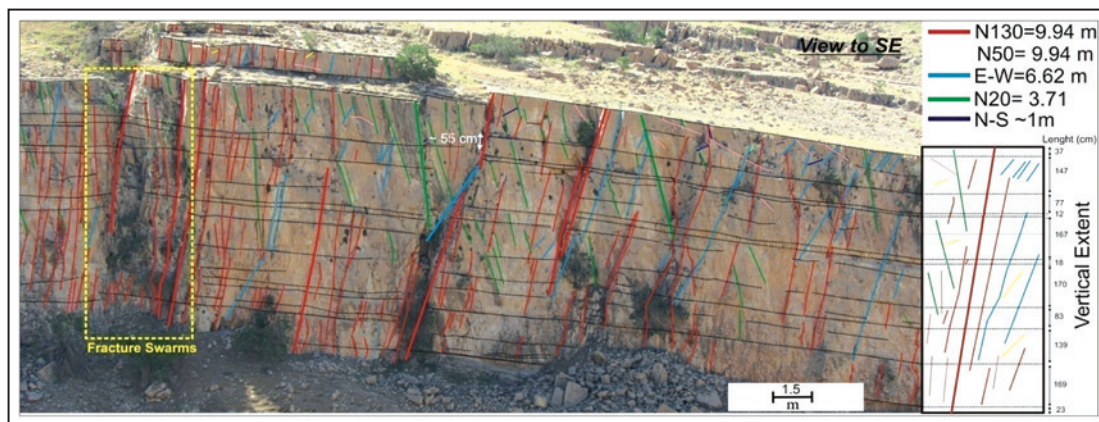
شکل ۷- نمودارهای امتدادی دسته شکستگی‌ها به نقشه کشیده شده از روی تصاویر ماهواره‌ای (Google Earth V.7).



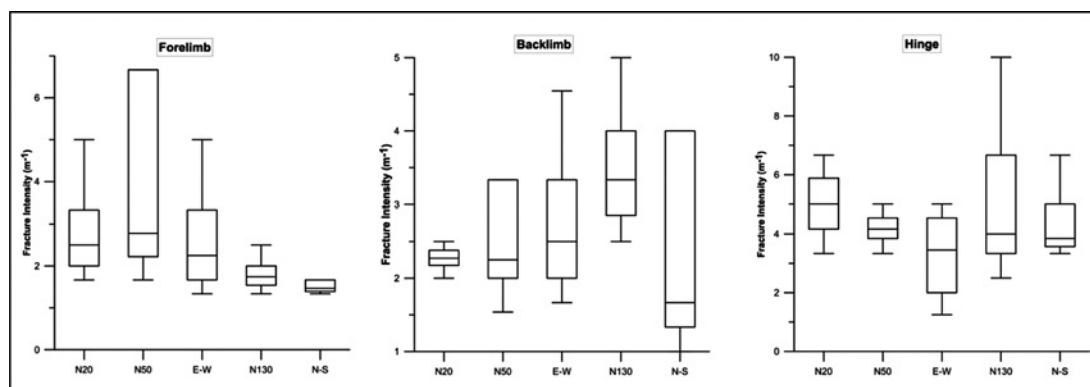
شکل ۸- شدت شکستگی در واحدهای آهکی و آهک رسی در نواحی مختلف چین.

شکل ۹- شدت شکستگی در مقایسه با ستبرای در: الف) واحدهای آهکی قهوه‌ای رنگ؛ ب) آهک رسی کرم روشن به تفکیک نواحی مختلف چین. با افزایش ستبرای (بیشتر از ۱ متر)، شدت شکستگی در واحد آهک کمتر می‌شود.





شکل ۱۰- برش عمودی سازند آسماری در یال پیشانی در تاقدیس کوه آسماری. در این برش واحدهای آهکی رسی، آهکی کرم روشن، مارن‌های خاکستری و روشن با ستبراهای مختلف دیده می‌شوند. شکستگی‌های عمود و موازی محور چین محدود به سطح لایه‌بندی نیستند. همچنین دیگر دسته شکستگی‌ها نیز سطح لایه بندی را قطع می‌کنند.



شکل ۱۱- مقادیر شدت شکستگی در یال‌ها و لولا به تفکیک دسته شکستگی‌ها. دامنه شدت شکستگی در لولا بسیار بیشتر از یال‌هاست.

کتابنگاری

مطیعی، ه.، ۱۳۷۲- زمین‌شناسی ایران، چینه‌شناسی زاگرس، انتشارات سازمان زمین‌شناسی کشور، ۵۳۶ ص.

References

- Adams, T. D. & Bourgeois, F., 1967- Asmari Biostratigraphy: Iranian Oil Operation Companies, Geological and Exploration Division, Report No. 1074: 6-11.
- 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* 27 (TC1016): 1-22.
- Awdal, A., Braathen, A., Wennberg, O. & 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* 19: 139-155.
- Barton, C. A. & 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*: 49-56.
- Belayneh, M. & Cosgrove, J., 2004- Fracture pattern variations around a major fold and their implications regarding fracture prediction using limited data: an example from the Bristol Channel Basin. *The geological Society of London special Publication*, 231, 74-89.
- Brudy, M. & 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* 36: 191-215.
- Carminati, E., Aldega, L., Trippetta, F., Shaban, F., Narimani, H. & Sherhati, S., 2014- Control of folding and faulting on fracturing in the Zagros (Iran): The Kuh-e-Sarbalesh anticline. *Journal of Asian Earth Sciences* 79: 400-414.

- Casini, G., Gillespie, P., Vergés, J., Romaire, I., Fernández, N. & Casciello, E., 2011- Sub-seismic fractures in foreland fold and thrust belts: insight from the Lurestan Province, Zagros Mountains, Iran. *Petroleum Geoscience* 17 (3): 263-282.
- Colman-Sadd, S. P., 1978- Fold development in Zagros Simply Folded Belt, southwest Iran. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 62, 984-1003.
- Currie, J. B., 1974- Study Examines Fracture Porosity and Permeability in Stratigraphic Traps. *Oil and Gas Journal*, 178-181.
- Dershowitz, W. S. & Herda, H. H., 1992- Interpretation of Fracture Spacing and Intensity. *Proc. 32nd US Rock Mech. Symp*, Santa Fe, NM, 757-766.
- Di Cuia, R., Gout, C., Bazalgette, L. & Masse, P., 2004- Are fractures, in a carbonate sequence, facies controlled?: the Mailla Mountain (Southern Italy), a key for complex reservoir modelling. Abstract presented at the EAGE 66th Conference & Exhibition.
- Dunn, D. E., LaFountain, L. J. & Jackson, R. E., 1973- Porosity Dependence and Mechanism of Brittle Fracture in Sandstones. *Journal Geop. Res*, 78, 2403.
- Gholipour, A., 1998- Patterns and Structural Positions of Productive Fractures in the Asmari Reservoirs, Southwest Iran. *Journal of Canadian Petroleum Technology* 37: 44-50.
- Hanks, C. L., Lorenz, J., Teufel, L. & Krumhardt, A. P., 1997- Lithologic and structural controls on natural fracture distribution within the Lisburne Group, northeastern Brooks Range and North Slope subsurface, Alaska. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 81, 1700-1720.
- Hessami, K., Koy I. H. & Talbot, C. J., 2001- The significance of strike-slip faulting in the basement of. *Journal of Petroleum Geology* 24: 5-28.
- Hoshino, K., 1974- Effect of Porosity on the Strength of the Clastic Sedimentary Rocks. In *Advances in Rock Mechanics*, Proc. 3rd Int. Soc. Rock Mech, 11, 511-516.
- Lisle, R., 1994- Detection of zones of abnormal strains in structures using Gaussian curvature analysis. *American Association of Petroleum Geologists Bulletin* 78: 1811-1819.
- 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* 57: 2367-238.
- McQuillan, H., 1974- Fracture Patterns on Kuh-e-Asmari Anticline, Southwest Iran. *AAPG Bulletin* 58: 236-246.
- Mossadegh, Z., K., Haig, D. W., Allen, T., Adabi, M. H. & Sadeghi, M. H., 2009- Salinity changes during Late Oligocene to Early Miocene Asmari Formation deposition, Zagros, Iran, *Paleogeography, Paleoclimatology, Paleocology*: 272, 17-36.
- Movahed, Z., Junin, R. & Jeffreys, P., 2014- Evaluate the borehole condition to reduce drilling risk and avoid potential well bore damages by using image logs. *Journal of Petroleum Science and Engineering* 122: 318 - 330.
- Nelson, R., 2001- Geological analysis of naturally fractured Reservoirs. Second Edition: Gulf Professional Publishing.
- Nemati, M. & Pezeshk, H., 2005- Spatial Distribution of Fractures in the Asmari Formation of Iran in Subsurface Environment, Effect of Lithology and Petrophysical Properties. *Natural Resources Research*, 14, 305-316.
- Price, N. J., 1966- Fault and Joint Development in Brittle and Semi-Brittle Rock, Pergamon Press, London, 176 p.
- 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* 169: 187-196.
- Sepehr, M. & Cosgrove, J. W., 2004- Structural framework of the Zagros Fold-Thrust Belt, Iran, *Mar. Pet. Geol.*, 21, 829 - 843.
- Stearns, D. W. & Friedman, M., 1972- Reservoirs in Fractured Rock. *American Association of Petroleum Geology*, 16, 82-100.
- 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: 97-116.
- Stephenson, B., Koopman, A., Hillgartner, H., McQuillan, H., Bourne, S. & Noad, J., 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: 1-21.
- Thomas, A. N., 1948- The Asmari Limestone of Southwest Iran. AIOC Report No.705, Teheran (unpubl.).
- Thomas, A. N., 1949- Tentative isopachyte map of the Upper Asmari Limestone of the Oligocene and Lower Miocene in Southwest Iran. AIOC Report No.731, Teheran (unpubl.).
- Thomas, A. N., 1950- Facies variations in the Asmari Limestone: International Geological Congress, London, 74-82 p.
- Wennberg, O., Azizzadeh, M., Aqrabi, A. M., Blanc, E., Brockbank, P. & Lyslo, K. B., 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: 23-42.
- Wennberg, O., Svåná, T., Azizzadeh, M., Aqrabi, A., Brockbank, P. & Lyslo, K., 2006- Fracture intensity vs. mechanical stratigraphy in platform topcarbonates: the Aquitanian of the Asmari Formation, Khaviz Anticline, Zagros, SW Iran. *Petroleum Geoscience* 12: 235-245.
- Zoback, M., 2007- Reservoir Geomechanics. New York: Cambridge University Press, 449 p.

Analysis of fracture intensity-controlling parameters in the Sedimentary sequences of Asmari Formation in Kuh-Asmari anticline, Zagros fold belt

Y. Jalili ¹, M. M. Khatib ^{2*} & A. Yassaghi ³

¹ Ph.D. Student, Department of Geology, Faculty of Science, Birjand University, Birjand, Iran

² Professor, Department of Geology, Faculty of Science, Birjand University, Birjand, Iran

³ Associate Professor, Department of Geology, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Received: 2015 March 15

Accepted: 2015 June 16

Abstract

Fracture intensity-controlling factors, which include folding mechanism, lithology and thickness of layers, have been investigated in the Asmari Formation of the Kuh-e- Asmari using field studies and satellite images. Parameters such as structural position, spacing and vertical extension of the fractures in the limestone and argillaceous limestone units of different thicknesses in the Asmari Formation sequence in Kuh-e Asmari anticline were studied. The existence of large amounts of low-strength and high-porous clay minerals in the argillaceous limestone has resulted in the overall low strength of the rock, which eventually led to lower intensity of fractures in argillaceous limestone than of that in limestone. Variations in the fracture intensities in these two rock types showed that the thickness of the units does not much affect the fracture intensity. Hinge-parallel and hinge-perpendicular fractures resulted from flexural-slip folding and outer-arc extension in the hinge area of the fold exhibit the largest development, and exert the highest effect on wellbore instabilities. Results show that the maximum fracture intensity is in the hinge area of the fold, and that folding mechanism is the most important factor in controlling the intensity of the fractures.

Keywords: Fracture, Folding Mechanism, Lithology, Thickness, Kuh-e Asmari.

For Persian Version see pages 3 to 10

*Corresponding author: M. M. Khatib, E-mail: mkhatib@birjand.ac.ir