



شانزدهمین همایش انجمن زمین شناسی ایران

تحلیل سینماتیکی و دینامیکی چین خوردگی اشلر در زیرپهنه‌ی

کپه‌داغ فاوری

فرزین فرازمنند^{*}، بهنام رحیمی^۲، محمدرضا اخلاقی^۳

۱: دانشجوی کارشناسی ارشد تکتونیک، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

FARZINFARAZMAND@Yahoo.com

۲: دانشیار دپارتمان زمین‌شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه فردوسی مشهد

۳: کارشناس ارشد مهندسی مخازن، شرکت نفت و گاز شرق (مشهد)

چکیده

تاق‌دیس اشلر (اشلیر) با بیشینه‌ی درازا و پهنای ۹/۸ و ۴/۲ کیلومتر با فرازای چکاد ۱۴۰۰ متر در بخش خاوری و راستای چیره‌ی شمال‌باختری - جنوب‌خاوری در چارچوب سرخس، در شرقی‌ترین گستره‌ی نوار چین‌خورده کپه‌داغ قرار دارد. تاق‌دیس مذکور با طول محور ۱۰ کیلومتر از روستای قلعه‌نو در شمال‌باختری ناحیه‌ی مورد مطالعه آغاز و به روستای سنگانه در منتهی‌الیه جنوب‌خاوری منطقه ختم می‌شود. تاق‌دیس مذکور در ۶۰ و ۶۵ کیلومتری میادین گازی خانگیران و گنبدلی واقع است. لیتولوژی اصلی این تاق‌دیس را دو سازند شوربچه و آهک تیرگان تشکیل می‌دهند. ماسه‌سنگ و کنگلومرای سازند شوربچه، هسته‌ی در حال فرسایش این تاق‌دیس را تشکیل داده است. این تاق‌دیس از نظر هندسی یک چین نامتقارن است که میل محور آن یک‌سویه و متمایل به سمت جنوب‌خاوری می‌باشد. بر اساس زاویه بین یالی، این تاق‌دیس چینی در ناحیه‌ی باز محسوب می‌شود. هم‌چنین بر مبنای زاویه‌ی میل محور و شیب سطح محوری، این تاق‌دیس چینی با سطوح کم‌شیب و محور تقریباً قائم به شمار می‌آید. هم‌چنین در بحث دینامیک چین‌خوردگی می‌توان اشاره داشت؛ محور تنش غالب در منطقه در جهت NE-SW به واحدهای سنگی اعمال می‌شود که در نتیجه روند غالب چین‌خوردگی در تاق‌دیس مورد پژوهش شمال‌باختری - جنوب‌خاوری است. به استناد برش‌های ساختاری و مکانیزم چین‌خوردگی، این چین در کلاس IB واقع می‌شود. در این پژوهش عناصر هندسه‌ی چین آشکار شده و با در نظر گرفتن قوام^۱ واحدهای تشکیل‌دهنده‌ی چین، سازوکار چین‌خوردگی از نوع خمشی - لغزشی^۲ تشخیص داده شد.

واژگان کلیدی: تاق‌دیس اشلر، کپه‌داغ، هندسه چین، قوام واحدها، خمشی لغزشی

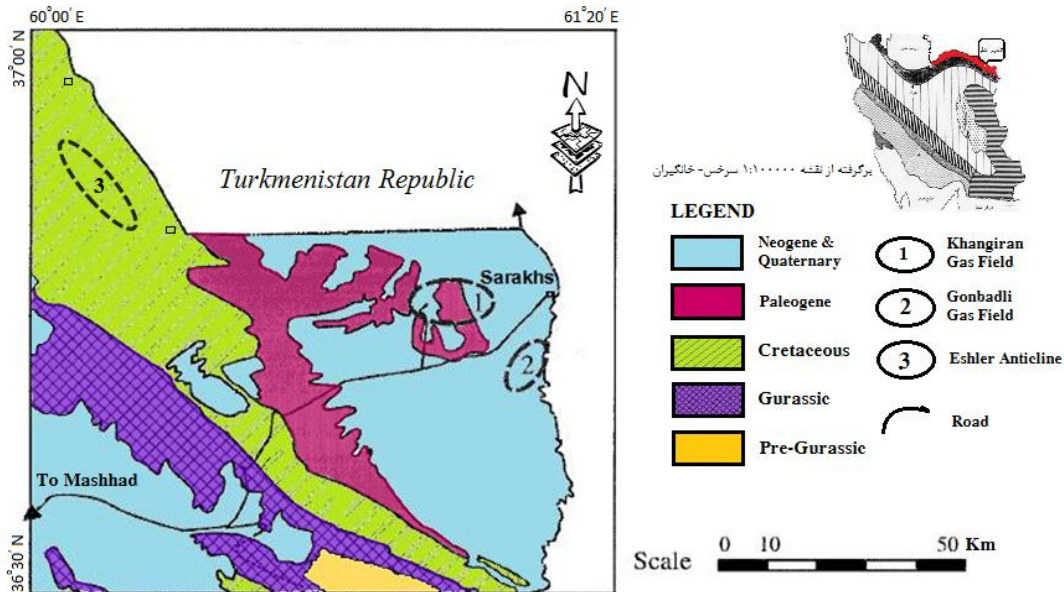
مقدمه

هندسه‌ی یک چین، مجموعه‌ای از ویژگی‌های ظاهری است که شکل و ساختار (الگوی) آن چین را توصیف می‌کند. در این تحقیق، ویژگی‌های هندسی چین در تاق‌دیس اشلر واقع در شرق منطقه سرخس به جهت مطالعه الگوهای ساختاری آن مورد بررسی قرار گرفته است. مطالعه‌ی ساختمان‌هایی نظیر چین‌خوردگی‌ها در این کمربند ساختاری به دلیل وجود مخازن هیدروکربنی به ویژه گاز از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. سنگ

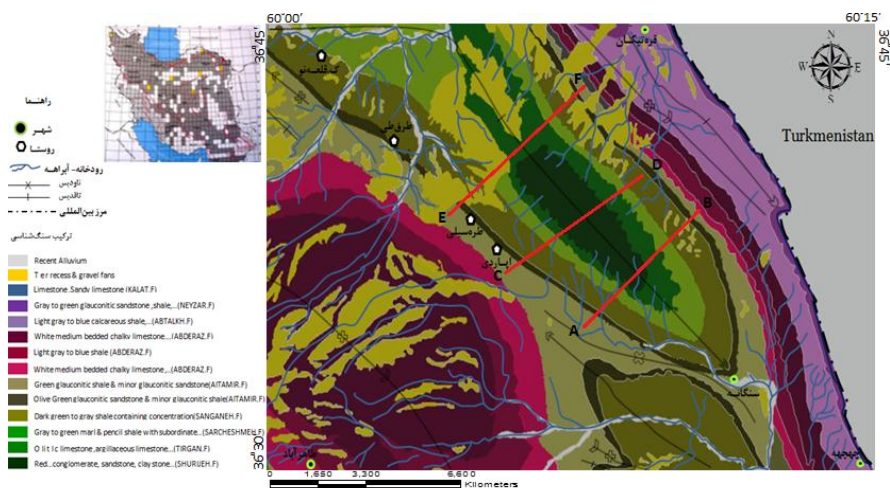
¹ Competency

² Flexural-Slip

مخزن اصلی میدان خانگیران، سازند مزدوران است و ماسه سنگ‌های سازند شوربچه، سنگ مخزن درجه‌ی دوم را تشکیل می‌دهند (افشارحرب، ۱۳۸۳). دلیل انتخاب و بررسی این تاق‌دیس نیز، وجود سازند شوربچه (سنگ مخزن گاز) در رخنمون تاق‌دیس است. بر همین مبنا سعی شده تا افزون بر مولفه‌های سبک تاق‌دیس، ویژگی‌های ساختمانی (سینماتیک و دینامیک) چین نیز مورد بررسی قرار گیرد. به همین منظور سه برش ساختاری از چین مذکور تهیه شد.



شکل ۱: نمایش نقشه‌ی ساده زمین‌شناسی حوضه‌ی خاوری ایالت کپه‌داغ. بیضوی ۱ و ۲ میداین گازی را نمایش می‌دهد

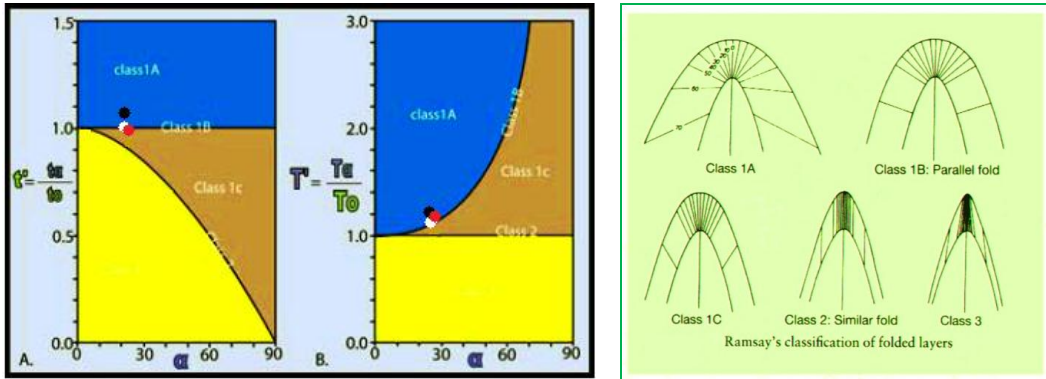


شکل ۲: نمایش نقشه زمین‌شناسی موقعیت مورد مطالعه که بیضوی ۳ را در شکل ۱ نمایش می‌دهد.

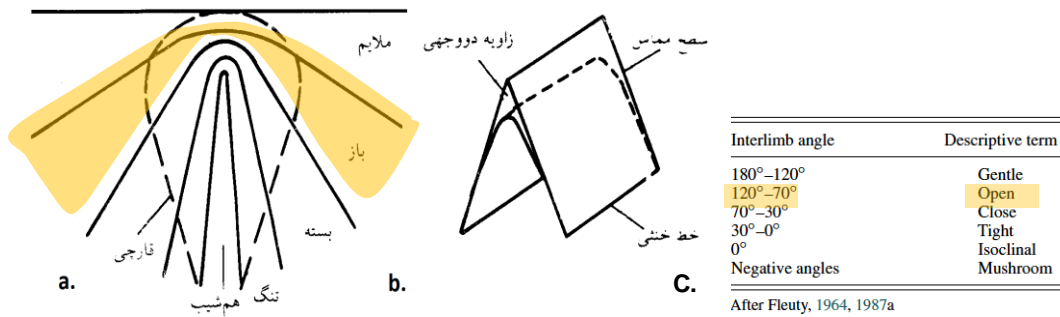
بحث

(۱) هندسه‌ی چین خوردگی اشلر

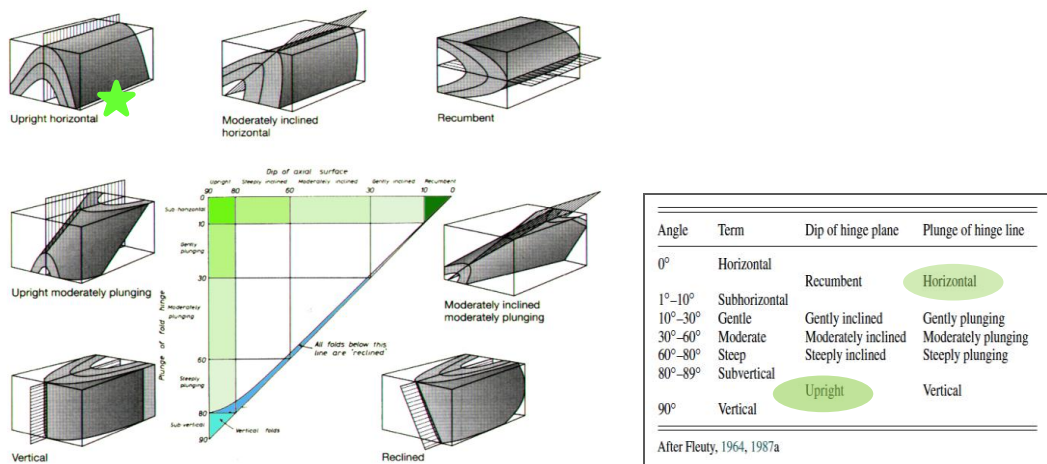
تاق‌دیس اشلر با طول محور حدود ۱۰ کیلومتر از روستای قلعه‌نو در شمال‌باختری ناحیه‌ی مورد مطالعه آغاز و به روستای سنگانه در منتهی‌الیه جنوب‌خاوری منطقه ختم می‌شود. روند اثر سطح محوری چین-خوردگی، SE-NW است که به تدریج در انتهای رخنمون تاق‌دیس انحنای پیدا کرده و روند شرقی-غربی به خود می‌گیرد. طبقات و واحدهای سنگی در یال پیشانی و پشتی حالت عادی و نرمال داشته و هیچ‌گونه برگشتگی در واحدها مشاهده نشده است. شیب طبقات در راستای چین به طور ناچیزی تغییر می‌کند که به-واقع با تبعیت از امتداد و شیب سطح محوری، این تغییر شیب صورت می‌گیرد. میانگین شیب دامنه‌ی شمالی ۳۰ و دامنه‌ی جنوبی ۳۲ درجه و جهت شیب به ترتیب به سمت NE و S, SW است. مختصات محور و سطح محوری چین به ترتیب $102/02^0$ و $014/81^0$ محاسبه شده است. مولفه‌های سبک چین‌خوردگی اشلر عبارت است از: **استوانه‌ای بودن، تقارن و سبک سطح چین خورده**. بر اساس مختصات برداشتی از لایه‌بندی‌ها و از نقطه نظر استوانه‌ای بودن، تاق‌دیس اشلر، یک چین نیمه‌استوانه‌ای بوده که میل محور آن یک‌سویه و متمایل به سمت جنوب‌خاوری است. شیب لایه‌بندی در طول سطح محوری در یال شمالی از ۲۰ تا ۴۰ درجه و در یال جنوبی از ۲۶ تا ۴۵ درجه متغیر است. از نظر تقارن، تاق‌دیس اشلر، یک تاق‌دیس نامتقارن با تمایل چیره به سمت غرب، شمال‌غرب در بخش باختری است. با توجه به رخنمون قابل توجه سازند تیرگان، راس آن برای بررسی شاخص‌های نسبت ظاهری، **فشردگی و نوک‌دار بودن**، به عنوان سطح آزمون در نظر گرفته شده است. با توجه به برش‌های ساختاری (پیوست یک) و برداشت‌های میدانی، زاویه‌ی بین دو پهلو ی چین (۷) از ۸۵ درجه در برش AB (بخش خاوری) تا ۱۲۵ درجه در برش EF (بخش باختری) متغیر است (شکل ۳)؛ به عبارتی زاویه‌ی چین‌خوردگی (ϕ) از ۵۵ تا ۹۵ درجه در تغییر است که در نتیجه، این تاق‌دیس از نظر فشردگی (جدول ۱)، چینی در ناحیه‌ی باز محسوب می‌شود که در پایانه‌ی شمال‌غربی، حالت ملایم به خود می‌گیرد. هم‌چنین نسبت ظاهری یا نسبت دامنه به نصف طول موج چین ($P = A/M$)، (شکل ۶a) در بخش خاوری و باختری تاق‌دیس اشلر اندازه‌گیری شده است. با توجه به مقادیر محاسبه شده در بخش‌های خاوری ($P_E = 0.27$) یک چین پهن (جدول ۲) و در بخش باختری ($P_W = 0.15$) یک چین وسیع (جدول ۲) تشکیل شده است. شاخص دیگر تعیین سبک چین، نوک‌دارشدگی یا به توصیفی انحنای نسبی چین در محل بستگی (Ragan, M., 2009) است که اندازه‌گیری نحوه‌ی گردش‌دگی یا گوشه‌دار شدن زون لولا را توصیف می‌کند (شکل ۶b) که این مولفه برای کنتاکت فوقانی سازند شوربچه و در هر دو بخش خاوری و باختری محاسبه شد. از آنجا که Γ_h (شعاع انحنای در بستگی تاق‌دیس) کوچک‌تر از Γ_h (شعاع دایره‌ی مماس بر یال‌های تاق‌دیس در محل نقطه‌ی عطف) می‌باشد، لذا از رابطه اول نوک‌دارشدگی Ragan ($b = r_h/r_i$) استفاده شده است. با توجه به مقادیر به دست آمده، بخش باختری با ($b = 0.624$) و بخش خاوری با ($b = 0.61$) این تاق‌دیس، یک چین نیمه-مدور (جدول ۲) محسوب می‌شود. برای بررسی سبک یک لایه‌ی چین‌خورده، سازند ماسه‌سنگی شوربچه انتخاب و مولفه‌های انحنای نسبی و ستبرای حقیقی یا قائم ($t\alpha$) آن مورد بررسی قرار گرفته شد. با بررسی برش‌های ساختاری (پیوست)، الگوی شیب ایزوگونی سازند شوربچه از نوع همگرا (رده یک) تعیین شد. این الگو در بخش جنوب‌خاوری تاق‌دیس از نوع B^۱ است و در بخش شمال‌غربی، از نوع IA می‌باشد. این رده‌بندی بر اساس اندازه‌گیری ضخامت عمودی ($t\alpha$) و سطح محوری ($T\alpha$) و با زاویه $\alpha = 25$ و به استناد برش‌های ساختاری و مکانیزم چین‌خوردگی مورد بررسی قرار گرفته شد. هم‌چنین ستبرای قائم ($t\alpha$) سازند شوربچه، از ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ متر برآورد می‌شود. در نهایت بر اساس تقسیم‌بندی (Ramsay, 1967) بر مبنای زاویه‌ی میل محور و شیب سطح محوری، این تاق‌دیس، چینی با سطوح کم‌شیب و محور تقریباً قائم است (شکل ۴).



شکل ۲: نمایش رده‌بندی طبقه‌بندی چین خورده بر اساس تفاوت ضخامت با افزایش شیب طبقه (چپ). A. این تصویر بر اساس نسبت ضخامت عمودی t_a/t_o رسم شده است. B. این تصویر بر اساس ضخامت به موازات سطح محوری رسم شده است. (Ramsay & Huber, 1987) نمایش کلاس‌بندی طبقه‌بندی چین-خورده (راست) (Ramsay, 1967).



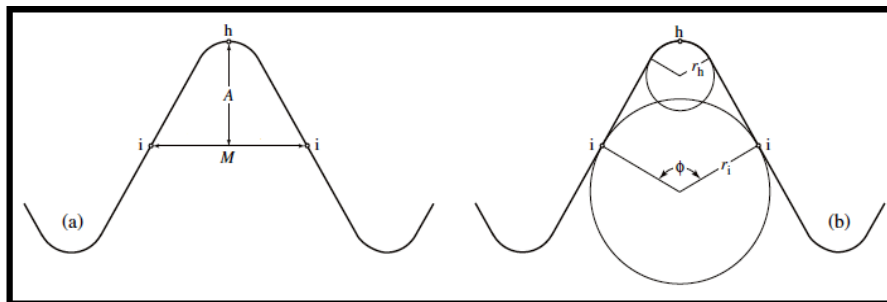
شکل ۳: a. نمایش چین‌ها بر اساس زاویه‌ی دو وجهی بین یال‌های چین b. نمایش، رسم و اندازه‌گیری زاویه‌ی دو وجهی بین یال‌های چین c. طبقه‌بندی چین‌ها بر اساس زاویه‌ی بین یالی چین



شکل ۴: نمایش تقسیم‌بندی چین بر اساس زاویه‌ی میل محور و شیب سطح محوری. در این نمودار محور قائم، زاویه‌ی میل محور چین و محور افقی، شیب سطح محوری است (after Fleuty, 1964, 1987a; Ramsay, 1967, p. 360)

جدول ۱ : نمایش اصطلاحات مربوط به فشردگی چین (زاویه بین بالی، زاویه چین خوردگی) (Twiss, 1988, p.906)

Term	Folding angle	Interlimb angle	
Acute	Gentle	$0 < \phi < 60$	$180 > \theta > 120$
	Open	$60 \leq \phi < 110$	$120 \geq \theta > 70$
	Close	$110 \leq \phi < 150$	$70 \geq \theta > 30$
	Tight	$150 \leq \phi < 180$	$30 \geq \theta > 0$
Isoclinal	$\phi = 180$	$\theta = 0$	
Obtuse	Fan	$180 < \phi < 250$	$0 > \theta > -70$
	Involute	$250 \leq \phi \leq 360$	$-70 \geq \theta \geq -180$



شکل ۶: مولفه‌های مربوط به سبک چین خوردگی (a). نسبت ظاهری (Aspect Ratio). (b). نوک‌دار شدگی (bluntness)

جدول ۲ : اصطلاحات مربوط به مولفه‌های سبک چین (Twiss, 1988, p.906)

Term	Aspect ratio	Term	Bluntness
Wide	$0.1 \leq P < 0.25$	Sharp	$0.0 \leq b < 0.1$
Broad	$0.25 \leq P < 0.63$	Angular	$0.1 \leq b < 0.2$
Equant	$0.63 \leq P < 1.58$	Subangular	$0.2 \leq b < 0.4$
Short	$1.58 \leq P < 4$	Subrounded	$0.4 \leq b < 0.8$
Tall	$4 \leq P < 10$	Rounded	$0.8 \leq b \leq 1$
		Blunt	$1 \leq b \leq 2$

۲) سینماتیک چین خوردگی

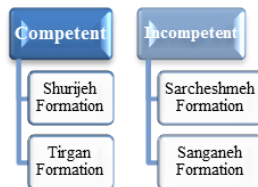
پس از شناخت ویژگی‌های هندسی تاقدیس اشلر در این قسمت به بررسی سازوکار و کینماتیک چین خوردگی از نقطه نظر تاثیر ویژگی‌های واحدهای سنگی مختلف در ایجاد ساختمان مذکور می‌پردازیم. شکل اصلی چین خوردگی‌ها توسط واحدهای مقاوم^۳ کنترل می‌شود. ولی وجود واحدهای ضعیف‌تر نیز می‌تواند تاثیرات پیش‌بینی نشده‌ای بر روی نحوه چین خوردگی و ساختارهای منطقه داشته باشد. مقاومت واحدها تاثیرات مختلفی بر هندسه چین خوردگی دارند. در یک سیستم چندلایه‌ای مانند تاقدیس‌ها که از واحدهای با قوام متفاوت تشکیل است چنین برمی‌آید که لایه‌های مقاوم گرایش به الگوی ایزوگونی کلاس IB (موازی) دارند. درحالی‌که طبقات ضعیف‌تر گرایش به داشتن الگوی ایزوگونی کلاس ۳ (واگرا) از کلاس‌بندی Ramsay دارند (شکل ۹). این طبقات می‌توانند به صورت سطح جدایش^۴ با تغییرات جانبی در رخساره و ضخامت، باعث تغییر طول موج،

³ Competent

⁴ Detachment level

دامنه و سبک چین خوردگی شوند (Ragan.M, 2009). در برخی مناطق هم این رخساره‌های ضعیف به رخساره‌های مقاوم تبدیل می‌شوند که در این صورت رفتار مکانیکی خود را به عنوان یک سطح ضعیف و ناهم‌انگ از دست می‌دهند (Sherkati & Letouzey, 2004). علاوه بر این کاهش ضخامت این سطوح نیز می‌تواند هم‌اثر را داشته باشد. مقاومت نسبی لایه‌ها، وجود سطح جدایش در منطقه مورد مطالعه، ستبرای زیاد و چند صدمتری برخی واحدهای سنگی اصلی از مشخصه‌های چینه نگاری سنگی⁵ این ناحیه به عنوان قسمتی از ایالت چین خورده-رانده کپه‌داغ است.

در این رابطه، قوام واحدهای درگیر در چین خوردگی عامل بسیار مهم و تعیین کننده است چراکه با توجه به این شاخصه‌ی مهم می‌توان سازوکار غالب چین خوردگی را در ناحیه‌ی مورد مطالعه، مورد بحث و بررسی قرار داد. بر این اساس می‌باید توالی واحدهای سنگی را در چارچوب ناحیه‌ی مورد پژوهش بر اساس میزان قوام ترسیم نمود (شکل ۷). در این نمودار سعی شده، واحدهای لیتولوژیکی که در محدوده‌ی مورد پژوهش برونزد دارند، بر اساس رفتار مکانیکی واحدها در خلال دگرشکلی، توالی سنی و با در نظر گرفتن ضخامت تقریبی کل واحد، به دو دسته -



ی اصلی تقسیم شوند؛

- واحدهای با قوام (Competent) با رنگ تیره
- واحدهای کم‌قوام (Incompetent) با رنگ روشن

از نظر سنگ‌شناسی، واحدهای باقوام در منطقه بیشتر شامل: سنگ آهک با فراوانی بیشتر و آهک مارنی، آهک ماسه‌ای و ماسه‌سنگ (کوارتزی) و کنگلومرا با فراوانی کمتر می‌باشد که حدود ۶۰ تا ۷۰ درصد کل واحدهای سنگی رخنمون یافته در منطقه را دربرمی‌گیرد. ۳۰ تا ۴۰ درصد باقی‌مانده نیز مربوط به واحدهای کم‌قوام می‌باشد که سنگ‌شناسی این واحدها بیشتر عبارت است از: شیل، مارن و شیل‌های آهکی (شکل ۷). همان‌طور که در جدول نیز مبرهن است، واحدهای تشکیل دهنده‌ی چین از هسته‌ی تاقدیس تا دامنه‌ی آن، از طبقه‌بندی Ramsay (بیشترین تا کمترین قوام) تبعیت می‌کند. نکته شایان اهمیت این است که موقعیت واحدها در این طبقه‌بندی به ترکیب شیمیایی و اندازه دانه‌های آنها در طی دگرشکلی نیز وابسته است. به بیان دیگر سازندهای سنگانه و سرچشمه به علت خاصیت شکل‌پذیری و نامقاوم بودن، یکی از عوامل موثر در شکل‌گیری سبک دگرشکلی ساختاری منطقه هستند.

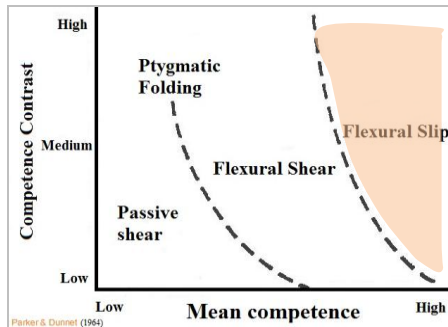
سازند	واحد یا قوام	توضیحات
JKs	سازند شورجه	واحد یا قوام کنگلومرای قرمز رنگ، ماسه سنگ رس، ماسه سنگ کوارتزی، مقادیر جزئی سنگ های کربناته
K _t	سازند تیرگان	واحد یا قوام سنگ آهک آلیتی و آریستولین دار و لایه‌های جزئی آهک‌های مارنی، شیل آهکی
Ksr	سازند سرچشمه	واحد کم قوام مارن خاکستری تا سبز رنگ، تناوب شیل تیره رنگ با لایه‌های نازک سنگ آهک
Ks	سازند سنگانه	واحد کم قوام شیل سبز تیره تا خاکستری، لایه‌های نازک سنگ آهک

Low or very low grade
1. Dolomite
2. Arkose
3. Quartz sandstone
4. Greywacke
5. Coarse-grained limestone
6. Fine-grained limestone
7. Siltstone
8. Marl
9. Shale
10. Halite, anhydrite

شکل ۷: نمایش طبقه‌بندی واحدهای سنگی متداول در چین خوردگی از بیشترین تا کمترین قوام در درجات دگرگونی کم و بسیار کم (Ramsay, 1982) (تصویر راست)، طبقه‌بندی واحدهای سنگی تشکیل دهنده چین اشلر (تصویر چپ)

⁵ Lithostratigraphy

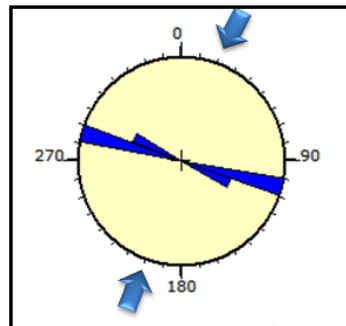
بدین ترتیب با استفاده از دیاگرام Dunnet & Parker (۱۹۶۴) که انواع مکانیسم چین خوردگی مرتبط با قوام میانگین^۶ و اختلاف قوام^۷ واحدهای درگیر را ارائه نموده است، مکانیسم غالب چین خوردگی در ناحیه مورد مطالعه از نوع خمشی - لغزشی یا خمشی - جریانی تعیین می شود چرا که قوام میانگین واحدها، نسبتاً بالا و اختلاف قوام بین واحدهای درگیر در چین خوردگی، کم می باشد (شکل ۸). در این نوع چین خوردگی، در حقیقت لغزش در همان سطوح لایه بندی رخ می دهد، بنابراین ضخامت طبقات ثابت باقی می ماند.



شکل ۸: نمایش مدل سینماتیکی چین خوردگی بر مبنای اختلاف قوام و قوام میانگین (Dunnet & Parker, 1964)

۳) دینامیک چین خوردگی

در بخش سوم به بحث و بررسی راستای بیشینه استرس به وجود آورنده چین خوردگی می پردازیم. می توان راستای افقی بیشینه تنش مسبب یک چین خوردگی را به طور تقریباً عمود بر راستای محور یا سطح محوری آن در نظر گرفت. به همین منظور، نمودار گل سرخی که اثر امتداد سطح محوری و محور تاقدیس اشلر را نشان می دهد، ترسیم شده است. با توجه به نقشه تکتونیکی منطقه، چین موجود در منطقه به طور میانگین محور NW-SE داشته که نشان دهنده کوتاه شدگی در جهت NE-SW است. بنابراین محور تنش غالب نیز می باید در جهت N, NE-S, SW بر واحدهای سنگی اعمال گردد. همان طوری که در دیاگرام گل سرخی نیز مبرهن است، روند کلی غالب برای سطح محوری چین خوردگی مورد مطالعه به تقریب شمال باختری - جنوب - خاوری است. این راستا در اثر یک تنش افقی در راستای به تقریب N010E الی N030E یعنی عمود بر محور چین در برش های مختلف به وجود آمده که میانگین آن N020E می باشد (شکل ۹).



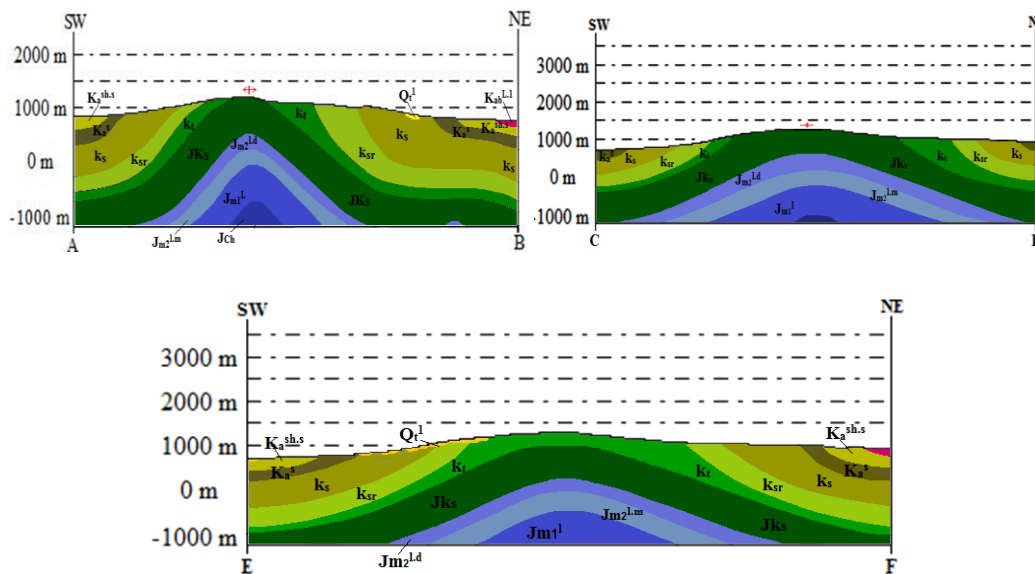
شکل ۹: نمایش رزد باگرام مربوط به سطح محوری غالب در بخش باختری و خاوری چین

⁶ Mean Competence

⁷ Competence Contrast

نتیجه گیری

نتایج بدست آمده از تحلیل سیستم هندسه‌ی چین تاقدیس اشلر حاکی از آن است که بر اساس طبقه‌بندی رمزی، الگوی شیب ایزوگونی تاقدیس اشلر از نوع همگرا (1A,1B) می‌باشد و در طبقه‌بندی بر اساس سطح چین خوردگی از نوع چین نیمه‌مدور، باز(ملایم)، نامتقارن و با ضریب نوک‌دارشدگی 0.624 و 0.61 است. در تحلیل سینماتیکی تاقدیس، بحث قوام میانگین و اختلاف قوام واحدهای تشکیل‌دهنده چین و تبعیت آن از رده‌بندی طبقات درگیر (رمزی)، ضخامت ثابت طبقات و فقدان سیستم‌های گسلش و ... حاکی از ساختار چین خوردگی با مکانیزم خمشی - لغزشی است. در بحث دینامیک نیز محور تنش غالب نیز می‌باید در جهت N,NE-S,SW بر واحدهای سنگی اعمال گردد.



پیوست یک: نیمرخ‌های تهیه‌شده ساختاری از بخش خاوری و باختری چین، راهنمای واحدها مطابق شکل ۲ می‌باشد.

منابع فارسی:

افشار حرب.ع، ۱۳۷۳، زمین‌شناسی کپه‌داغ، طرح تدوین کتاب، سازمان زمین‌شناسی، کتب زمین‌شناسی ایران، ۱۱ ش

(Reference):

1. Ramsay, J.G., 1967. *Folding and fracturing of rocks*. McGraw-Hill, New York, pp. 568.
2. Twiss, R.J., & E.M. Moores, 1992, *Structural Geology*: W.H. Freeman and Company, New York. *entionially toxic metals*. Springer, pp.
3. Ragan, D.M., 2009. *Structural geology An Introduction to Geometrical Techniques*, fourth edn. Cambridge University Press pp.626.
4. Ramsay, J.G. & Huber, M. I., 1987- *The Techniques of Modern Structural Geology*, Academic press, London, PP.314 -317,700P.
5. Fleuty, M.J., 1964, *The description of folds: Proceedings of the Geologists Association*, v. 75.
6. Ramsay, J.G., 1982, *Rock ductility and its influence on the development of tectonic structures in mountain belts*: in K.J. Hs`u, editor, *Mountain Building Processes*, London, p. 111-127.
7. Twiss, R.J., 1988, *Description and classification of folds in single surfaces*: *Journal of Structural. Geology*, v. 10, p. 607-623.
8. Ramsay, J.G., & M.I. Huber, 1987, *The Techniques of Modern Structural Geology: Volume 2: Folds and Fractures*: Academic Press, London.